

**Současné poznatky o významu chemické a metalografické čistoty  
kordových ocelí**

Bakalářská práce

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá současnými poznatky o významu chemické a metalografické čistoty kordových ocelí. Těmito faktory se hlavně zabývá sekundární metalurgie, což znamená rafinace oceli, která zlepšuje kvalitu vyrobené oceli v ocelárně.

V teoretické části této práce je popsána konstrukce a rozdělení pneumatik se všemi jednotlivými ocelovými komponenty, které se v pneumatice nacházejí. Následně jsou charakterizována veškerá rozdělení a vlastnosti kordových ocelí s uvedenými možnostmi hodnocení jejich mikročistoty. V této části jsou také uvedeny veškeré technologické postupy výroby kordových ocelí, od výroby v jednotlivých pecních agregátech, až po jejich následné zpracování. Další část bakalářské práce se zabývá analýzou světové literatury, kde jsou řešeny možnosti zlepšení chemické a metalografické čistoty na základě prováděných experimentů.

**Klíčová slova:** kordová ocel, pneumatika, čistota oceli, vměstky, mikročistota

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with current knowledge about the importance of chemical and metallographic cleanliness of cord steels. These factors are mainly dealt with by secondary metalurgy, which means the refining of the steel, which improves the quality of the steel produced in the steel plant.

The theoretical part of this work describes the construction and division of tires with all the individual steel components that are in the tire. Subsequently, all divisions and properties of cord steel are characterized with the stated possibilities of evaluating their microcleanliness. This section also lists all technological processes of the production of cord steels, from production in individual furnace aggregates units to their subsequent processing. The next part of the bachelor's thesis deals with the analysis of worldwide literature, where the possibilities of improving chemical and metallographic cleanliness are based on experiments.

**Keywords:** cord steel, tire, cleanliness of steel, inclusions, microcleanliness

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Karlu Michalkovi, CSc. a konzultantovi Ing. Josefu Walkovi za věcné připomínky, odborné rady, vstřícnost, především trpělivost a pomoc při tvorbě této bakalářské práce. Dále poděkování patří technologům z TŽ, a.s., za podnětné připomínky, poskytnutí odborné literatury a čas, který mi věnovali.

*Bakalářská práce vznikla v rámci řešení projektů “Studentské grantové soutěže”  
SP2021/39 a SP2021/41.*

---

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>5</b>
<b>1 CHARAKTERISTIKA OCELI URČENÉ PRO VÝROBU KORDOVÝCH VÝZTUŽÍ PNEUMATIK.....</b>	<b>6</b>
1.1 Rozdělení pneumatik .....	8
1.2 Výztuž pneumatiky z kordových ocelí .....	9
1.3 Rozdělení kordových ocelí .....	10
1.4 Vlastnosti kordových ocelí .....	12
1.5 Mikročistota v kordových ocelích a její vyhodnocování.....	14
<b>2 TECHNOLOGIE VÝROBY A ZPRACOVÁNÍ KORDOVÝCH OCELÍ .....</b>	<b>21</b>
2.1 Proces výroby kordových ocelí.....	21
2.2 Proces dalšího zpracování kordových ocelí.....	23
<b>3 ANALÝZA CELOSVĚTOVÝCH LITERÁRNÍCH ÚDAJŮ O POŽADAVCÍCH NA CHEMICKOU A METALOGRAFICKOU ČISTOTU KORDOVÝCH OCELÍ.....</b>	<b>26</b>
<b>4 ZÁVĚR .....</b>	<b>44</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>47</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>50</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>51</b>

## ÚVOD

Ocel je velmi důležitým materiálem moderní světové ekonomiky. Díky své univerzální škále vlastností je hlavním konstrukčním materiálem, který se dnes používá při výrobě automobilů, nákladních vozidel, lodí, plynovodů, mechanických nástrojů, domácích spotřebičů, budov, silnic a mostů.

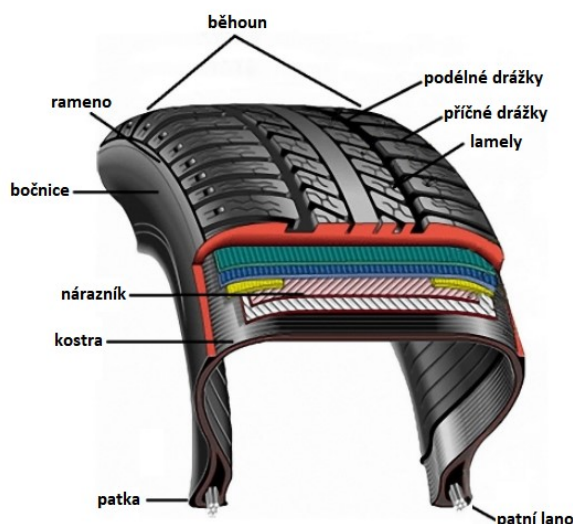
Výroba oceli probíhá v ocelářských agregátech, kterými jsou zejména kyslíkový konvertor a elektrická oblouková pec. Moderním rozvojem v ocelárnách je zavedení mimopecního zpracování oceli, které mnohými postupy úpravy vede ke zlepšení čistoty oceli a tím i jejich vlastností. Následně se tekutá ocel odlévá jako ingoty, odlitky a převážně plynulé lité předlitky na zařízení plynulého odlévání oceli. Předlitky se dále zpracovávají ve válcovnách nebo kovárnách podle způsobu použití.

Oceli, určené pro výrobu kordových výztuží pneumatik, vyžadují sofistikované způsoby výroby, které se odrážejí i v následném zpracování do konečného produktu. Při výrobě kordové oceli se kladou vysoké nároky na přesně vymezené chemické složení, mikročistotu a mechanické vlastnosti. Tato ocel je charakteristická velmi vysokou chemickou a metalografickou čistotou. Jedná se o velice důležitou část pneumatiky, jelikož pevná ocelová výztuž rapidně zvyšuje životnost pneumatiky a bezpečnost v provozu.

# 1 CHARAKTERISTIKA OCELI URČENÉ PRO VÝROBU KORDOVÝCH VÝZTUŽÍ PNEUMATIK

Pod pojmem pneumatika se rozumí souhrn jednotlivých částí, ze kterých je tato pneumatika tvořena viz **obr. 1**.

Vnější část pneumatiky se nazývá **plášť**, který přichází do kontaktu s vozovkou. Základ pláště se skládá z kostry, která je tvořená z kordových vložek potažených vrstvou gumy. Kostra je zakotvena patkou, ve které jsou uloženy patní lana. Další částí je nárazník, který tvoří přechod mezi běhounem s desénem a bočnicí [1].



**Obr. 1** Konstrukce pneumatiky [2]

**Běhoun** je vnější část, na jejímž povrchu se nachází desén, který je tvořen podélnými a příčnými drážkami a lamelami. Tyto drážky a jejich tvar zajišťují funkci pneumatiky, především adhezi k vozovce a zvyšují schopnost brzdového systému. Důležitým parametrem, který má vliv na teplo vznikající v běhounu, je jeho tloušťka. Proto je z tepelného hlediska nejvýhodnější pro pneumatiku nejtenčí možná tloušťka běhounu [1, 2].

**Rameno** tvoří přechod mezi běhounem a bočnicí. Jeho hlavním úkolem je zajistit stabilitu vozidla na vozovce v průběhu zatáčení [2].

**Bočnice** je vyrobena z kaučukové směsi, do které se přidávají různé přísady k zajištění ochrany kostry pláště pneumatiky před vznikajícím mechanickým a chemickým poškozením pneumatiky. Mezi velmi nebezpečné vlivy patří stárnutí bočnice, zapříčiněné vlivem okolní atmosféry, proto se používají přísady vázající vzdušný kyslík. Další možností pro zvýšení

životnosti pláště je použití terpolymeru na bázi ethylenpropylenu (EPDM), avšak nevýhodou této pryže je značně vysoká cena [1].

Mezi běhounem a kostrou se nachází **nárazník**, který zlepšuje jejich dynamické vlastnosti a zvyšuje pevnost kostry. Nárazník se vyrábí z různých druhů kordových vložek, jak ocelových, tak textilních. Výběr vhodného materiálu se odvíjí od provozních podmínek, druhu pneumatiky nebo strojního zařízení pro výrobu kordových vložek. Aby mohl nárazník omezovat nežádoucí pohyb jednotlivých částí běhounu, tak je nejvhodnější použít ocelové kordové vložky v nárazníku. U diagonálních pneumatik se používají dvouvrstevkové nárazníky a v radiálních pneumatikách je počet nárazníkových vložek obvykle větší [1].

**Kostra** představuje nosnost pneumatiky a určuje její tvar. Je vyrobená z jednotlivých kordových vložek. Zvolená konstrukce a druh použitých kordů určují vlastnosti kostry pláště. U diagonálních pneumatik závisí pevnost na druhu kordů, počtu kordových vložek v kostře a úhlu, který svírají jednotlivá vlákna kordových vložek. Kordové vložky jsou v sudém počtu a jednotlivá vlákna svírají úhel 32 až 40 °. Pevnostní vlastnosti u radiálních pneumatik závisí na druhu kordů, počtu vložek a konstrukci nárazníku. Vlákna kordových vložek v kostře radiální pneumatiky se ukládají v kolmém směru, od patky k patce. Uložení kordových vložek je zobrazeno na **obr. 2** [1].



a) Uložení v diagonálním plášti

b) Uložení v radiálním plášti

**Obr. 2** Uložení vložek a nárazníku v diagonálním a radiálním plášti pneumatiky [1]

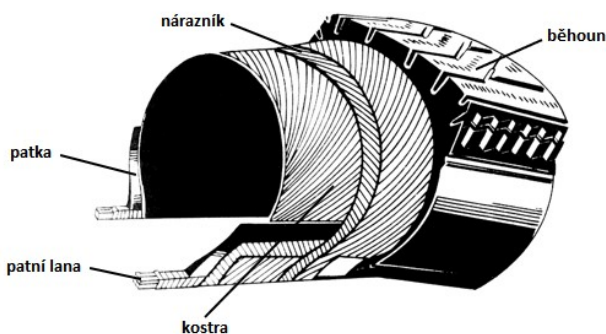
**Patka** pláště je zesílenou částí, která dosedává na ráfek (prstenec, který přenáší síly mezi patkou pláště a nosnou částí kola). Z **obr. 1** je patrné, že se jedná o ohnutou část kordových vložek kostry obklopující patní lana. Patky jsou pogumované vysoce pevnostní tkaninou [1].

**Patní lana** jsou vyrobena z vysokouhlíkových ocelových drátů. Jejich počet v patce není vždy stejný, neboť u nákladních automobilů s větším rozměrem pneumatiky se používá vyšší počet lan v patce než u osobních automobilů, čímž se kostra zpevní a patka ztuží [1].

## 1.1 Rozdělení pneumatik

Podle konstrukce kostry pláště se pneumatiky rozdělují na diagonální a radiální [1].

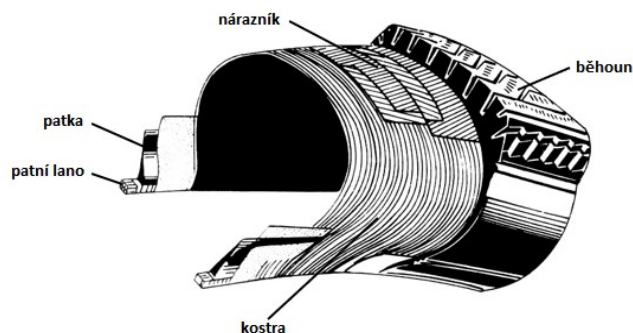
**Diagonální pneumatiky** mají kostru pláště tvořenou kordovými vložkami sudého počtu, kde se vlákna v jednotlivých vložkách vzájemně kříží a spolu svírají úhel 32 až 40 °. Aby bylo dosaženo elastických vlastností pro pneumatiku, musí se kordové vložky nanášet kaučukovou směsí. Nárazníky se pokládají na kostru a ty tvoří vrstvu mezi kostrou a běhounem. Obvykle jsou nárazníky diagonálních pneumatik tvořeny z totožného textilního materiálu jako kostra pláště. Běhoun je tvořen pryžovou směsí odolnou proti oděru. Z kaučukové směsi se vyrábí bočnice, která chrání boky pneumatiky a musí odolávat mechanickým poškozením. Na **obr. 3** je znázorněno schéma diagonálního pláště pneumatiky [1].



**Obr. 3** Konstrukce diagonálního pláště pneumatiky [1]

Dalším konstrukčním druhem jsou **radiální pneumatiky**. Jedná se o nejkvalitnější typ pneumatik v současném provozu. Mezi nejdůležitější vlastnost patří výborná adheze pneumatiky na vozovce. Pásový nárazník je sestaven z několika ocelových kordových vložek, který zvyšuje odolnost kostry pláště pneumatiky proti průrazům. Ocelové kordové vložky nárazníku mají vlákna, která svírají pravý úhel s vlákny kostry. Nárazník se skládá ze 2 až 6 vrstev a jednotlivá vlákna těchto vrstev se mírně kříží, jak je možné vidět na **obr. 4**. Kostra je vyrobena z ocelových kordových vložek, jejichž vlákna jsou vedena od patky k patce. Běhoun je tvořen jednou nebo dvěma vrstvami pryže. Využití ocelových kordů i do kostry pláště pneumatiky je velkou výhodou, protože pneumatika bude dosahovat vyšších pevností a může se použít méně kordových vložek v kostře než u diagonálního typu pneumatiky. Jejich nevýhodou je vyšší citlivost na změnu tlaku v pneumatice při jízdě [1].

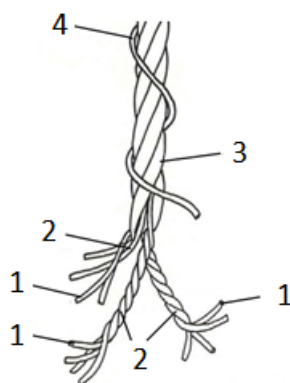




**Obr. 4** Konstrukce radiálního pláště pneumatiky [1]

## 1.2 Výztuž pneumatiky z kordových ocelí

Ocelový kord (viz **obr. 5**) je tvořený z velmi tenkých drátů spletených do několika pramenů, které jsou následně ovinuté spirálovým vláknem, tedy kordová výztuž je síť tvořená z jednotlivých pramenů drátů a slouží jako zpevňující prvek pneumatiky. Veškeré ocelové komponenty v pneumatice byly popsány v kapitole výše. Jedná se tedy o ocelový nárazník, kostru, patky obklopující patní lana, které umožňují pevné ukotvení pláště na ráfek [1, 3].



1 - vlákno, 2 - pramen, 3 - kord, 4 - ovinovací vlákno

**Obr. 5** Složky ocelového kordu [3]

Čím jsou kordy kvalitnější, tím se zvyšuje životnost v provozních podmínkách, prodlužuje životnost pneumatiky, a hlavně se zvyšuje bezpečnost provozu. Existuje mnoho výrobců pneumatik a každý z nich má své vlastní způsoby konstrukce a uložení kordové výztuže do pneumatiky. Jde o vlastní „know-how“ každého jednotlivého výrobce [1, 3].

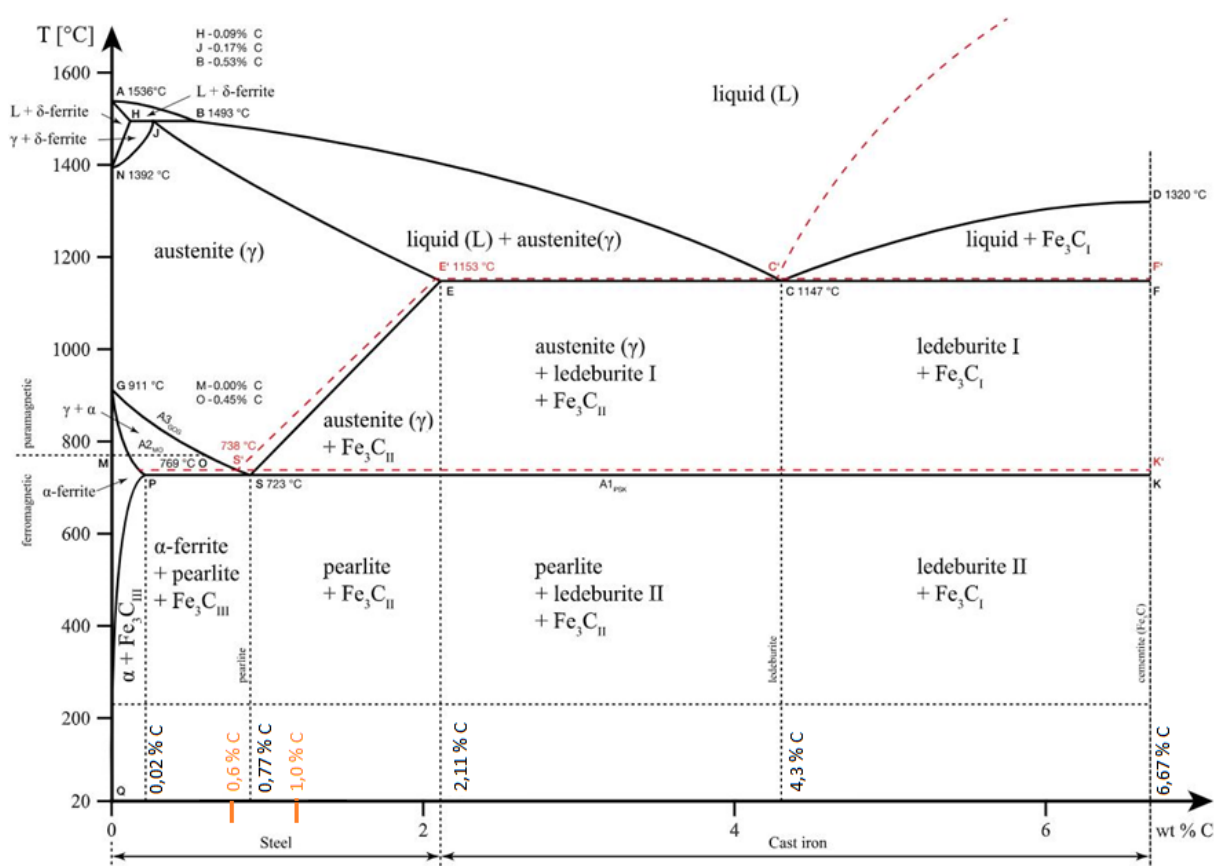
Jedná se o náročnou výrobní technologii, která musí ve finálním výrobku splňovat vysoké nároky. Ty musí splňovat výborné mechanické vlastnosti, jako například tažnost materiálu, kterou výrazně ovlivňuje chemické složení a metalografická čistota. Dané chemické složení má vliv na výsledné vlastnosti vyrobené oceli. V metalurgickém průmyslu

je využívána sekundární metalurgie, která vede nejen ke zlepšení kvality oceli, ale také ke zvýšení produktivity vysokopečního agregátu, a tím i nákladů vynaložených na 1 tunu vyrobené oceli [3].

Polotovarem kordových ocelí jsou plynule odlévané sochory s obsahem uhlíku nad 0,6 hm. %, ze kterých se válcováním za tepla a tažením za studena vyrábějí dráty [4].

### 1.3 Rozdělení kordových ocelí

Oceli určené pro výztuž pneumatik se vyrábějí z vysokouhlíkových ocelí. Jedná se tedy o uhlíkové oceli s přesně stanoveným a vymezeným chemickým složením. Pro zpřehlednění je na **obr. 6** zobrazen rovnovážný diagram železo-uhlík, kdy se rozmezí kordových ocelí pohybuje kolem 0,6-0,9 hm. % obsahu uhlíku. V praxi převažují oceli s obsahem 0,7-0,8 hm. %, ale ocelové kordy mající obsah uhlíku až 0,9 hm. % jsou nazývané jako ultrapevné a dolegovávají dalšími prvky např. Cr [5].



**Obr. 6** Rovnovážný diagram železo-uhlík [6]

Nad 0,77 hm. % uhlíku je struktura tvořena perlitem, vznikajícím při ochlazování z rozpadu austenitu, který se nachází po celé ploše výbrusu této oceli. Z těchto ocelí se vyrábí

litě sochory a jejich následným válcováním se drát o průměru 5,5 mm zpracovává tažením do finálních průměrů podle požadovaného použití. Při tažení drátů do finálních průměrů se válcovaný drát nejprve zbaví okují, poté následuje hrubé tažení, patentování, střední tažení, patentování, pokovování (mosaz nebo bronz), finální jemné tažení a splétání do pramenů. V oceli, která má převažující perlitickou strukturu je důležité tepelné zpracování drátů z kordových ocelí, protože s měnící se rychlostí ochlazování válcovaného drátu se radikálně mění jeho mechanické vlastnosti, zejména pevnost a kontrakce. S určením vhodných rychlostí ochlazování pomáhá znalost fázového diagramu železo-uhlík a rozpadové diagramy austenitu (ARA, IRA) [5].

Tyto oceli se rozdělují na dvě základní skupiny bead wire a kordy podle účelu použití. V následující **tab. 1** jsou uvedeny jako příklad základní značky ocelí včetně chemického složení [7].

První skupinou jsou kordy vyráběné ve značkách C70K a C80K, což je příčná výztuž běhounu pneumatiky a vždy jsou tažené dráty slaňovány do pramenů. Válcovaný drát, zařazením patentování do výrobního procesu tažení, se může protáhnout do průměru pouhých 0,35 až 0,12 mm. Používá se i tažený drát o rozměrech v průměru 0,5 mm do pneumatik nákladních automobilů [3, 7].

Značky C70B a C80B jsou označovány jako bead wire a používají se pro patní lanka do pneumatik, tudíž jsou vyráběny pouze do taženého drátu převážně o průměru 1,6-1,8 mm, v ojedinělých případech se používá drát o průměru 2 mm. Většinou se jedná o tažení na finální průměr bez zařazeného patentování v procesu výroby [3, 7].

**Tab. 1** Nenormalizované značky pro výrobu kordů a patních lanek do pneumatiky [7]

Označení oceli	Chemické složení (%)								
	C	Mn	Si	P	S	P+S	Cr	Ni	Cu
C70K	0.70-0.75	0.46-0.60	0.15-0.30	0.012 max.	0.015 max.	0.025 max.	0.08 max.	0.08 max.	0.08 max.
C80K	0.80-0.85	0.46-0.60	0.15-0.30	0.012 max.	0.015 max.	0.025 max.	0.08 max.	0.06 max.	0.08 max.
C70B	0.70-0.75	0.46-0.60	0.15-0.30	0.012 max.	0.015 max.	0.025 max.	0.08 max.	0.08 max.	0.08 max.
C80B	0.80-0.85	0.46-0.60	0.15-0.30	0.012 max.	0.015 max.	0.025 max.	0.10 max.	0.10 max.	0.10 max.

Rozhodujícím hodnoceným parametrem je mez pevnosti  $R_m$  a počet ohybů v krutu taženého drátu [3].

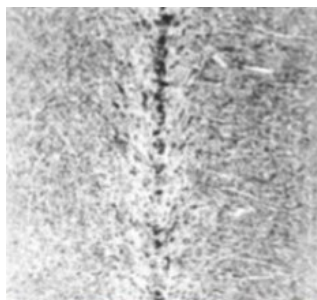
## 1.4 Vlastnosti kordových ocelí

Chemické, mechanické a fyzikální vlastnosti kordových ocelí jsou přísně kontrolovány. Je vyžadována chemická homogenita, kde důležitou roli hraje nežádoucí vznik segregace. Důležitou mechanickou vlastností je pevnost v tahu a zmenšení plochy drátu v průběhu zkoušky tahem. Tyto vlastnosti ovlivňují tažitelnost válcovaného drátu. Mezi fyzikální vlastnosti patří průměr, ovalita a stav povrchu, který musí být velmi kvalitní [3].

Jak už bylo zmíněno, mezi nejdůležitější vlastnosti kordových ocelí patří vysoká pevnost, tažnost a čistota.

Hodnota **pevnosti v tahu** by se měla pohybovat minimálně kolem 3 600 MPa [4]. Kvalita konečných produktů do značné míry závisí na kvalitě ocelových sochorů a válcovaných drátů. Je nutný minimální výskyt středové segregace [8].

**Středová segregace** u vysokouhlíkových ocelí je jednou z klíčových vad. Vede k nestejnorodosti vnitřního složení a mechanických vlastností, dále má negativní vliv na tažnost a únavové vlastnosti finálních výrobků. Hlavním důvodem vzniku středové segregace je, že dochází ke zvyšování koncentrace příměsí v poslední fázi tuhnutí. Vysoký obsah uhlíku je hlavní faktor, který zhoršuje středovou segregaci [8]. Na **obr. 7** je zobrazena struktura oceli se středovou segregací [9].



**Obr. 7** Středová segregace plynule litého sochoru [9]

**Nedostatečná čistota** je dalším hlavním problémem zhoršení kvality, která má za následek nejen snížení tažnosti, což vede k větší pravděpodobnosti vzniku lomu při tažení a zejména splétání, ale také i ke zhoršení únavových vlastností produktu. Nečistoty jako kyslík, dusík, fosfor a síra je třeba odstranit rafinací na co nejnižší úroveň. Mechanické vlastnosti vysokouhlíkových ocelí úzce souvisí s velikostí, množstvím a deformovatelností vměstků, protože některé velké a nedeformovatelné vměstky vždy iniciují přetržení ocelových drátů v průběhu tažení [8].

## Vliv prvků na vlastnosti kordových ocelí

Na vlastnosti kordových ocelí má vliv množství příměsí, které jsou v této oceli přítomny [5].

Nejvýznamnějším prvkem ovlivňujícím vlastnosti kordových ocelí a jejich použití je **uhlík**. Především ovlivňuje pevnost, kdy s rostoucím procentem uhlíku se zvyšuje pevnost, ale klesá houževnatost. U kordových drátů s obsahem uhlíku 0,8 hm. % a vyšších se podílí uhlík na tvorbě cementického síťoví [3, 5].

**Mangan** se v kordové oceli vyskytuje v rozmezí od 0,46 do 0,6 hm. %, ovšem maximální přípustný obsah je 0,55 hm. %. Přispívá ke zvýšení pevnosti bez poklesu plasticity, dále zvyšuje tažnost a zvětšuje vrubovou houževnatost. Mangan má vysokou afinitu k síře, na kterou se naváže, a tím se částečně odstraní nebo se vylučuje v méně škodlivý tvar. Při výrobě oceli vzniká nepříznivý oxid železnatý, který svou rozpustností znehodnocuje taveninu, proto se pro dezoxidaci přidává mangan [3, 5].

Pokud je mangan jako dezoxidovadlo nedostačující, tak se přivádí do kovové lázně mnohem účinnější prvek a to **křemík**. Přípustný obsah křemíku se pohybuje od 0,18 do 0,25 hm. %. Má negativní vliv na tváritelnost za studena, proto se nehodí na hluboké tažení oceli. Vměstky na bázi  $\text{SiO}_2$  snižují únavové vlastnosti kordových drátů [3, 5].

Mezi hlavní doprovodné škodlivé prvky patří fosfor a síra [5].

**Fosfor** je nežádoucí prvek, který by měl být obsažen ve velmi omezené míře, maximální výskyt 0,012 hm. %. Zhoršuje stárnutí oceli, což vede k popouštěcí křehkosti. Negativně ovlivňuje svařitelnost a vrubovou houževnatost. Snižuje tažitelnost kordových drátů a vede k segregaci. Dále má za následek zvýšení tvrdosti a pevnosti [3, 5].

**Síra** nepříznivě působí na vlastnosti oceli, např. pevnost, odolnost proti korozi, svařitelnost, houževnatost. Maximální obsah síry v kordových ocelích se vyskytuje do 0,015 hm. % a běžně se pohybuje kolem 0,01 hm. %. U kordových ocelí se síra promítá do úrovně tvárných vměstků [3, 5].

**Hliník** má rozhodující vliv na obsahy netvárných vměstků. U kordových ocelí se obsah hliníku pohybuje přibližně kolem 0,003 hm. %. Desoxidace se provádí bez hliníku. Před odpichem oceli z kyslíkového konvertoru se provádí proplach pánví pro odstranění oxidu hlinitého. Používá se licí keramika bez Al na bázi Zr, výběrové feroslitiny

a k modifikaci vměstků z netvárných na tvárné vměstky se používají kyselé strusky na bázi wollastonitu [3, 5].

Na vlastnosti kordových ocelí mohou mít vliv také plyny, které se v těchto ocelích vyskytují. Jedná se zejména o kyslík, vodík a dusík. Tyto plyny se v kordové oceli vyskytují v minimálním množství [5].

**Kyslík** způsobuje křehkost, zhoršuje vrubovou houževnatost a mez únavy. Pro dezoxidaci kyslíku se používají speciální feroslitiny. Maximální obsah kyslíku se pohybuje kolem 0,0015 hm. % [3, 5].

**Vodík** zapříčiňuje tzv. vložkovitost, tedy vznik trhlin způsobených vnitřním pnutím a zhoršuje houževnatost. Ovšem obsah vodíku 0,0002 hm. % v kordové oceli je zanedbatelný, proto nemá na zhoršení kvality významný vliv [3, 5].

Po tváření za studena vzniká tzv. stárnutí oceli zapříčiněné **dusíkem**, což vede ke snížení pevnosti a houževnatosti. Maximální přípustný obsah dusíku je 0,004 hm. % [3, 5].

V ocelích se kromě těchto základních prvků, jak prospěšných, tak škodlivých, vyskytují v průběhu zpracovávání i prvky legující, jako jsou např. chrom, nikl, měď aj. [5].

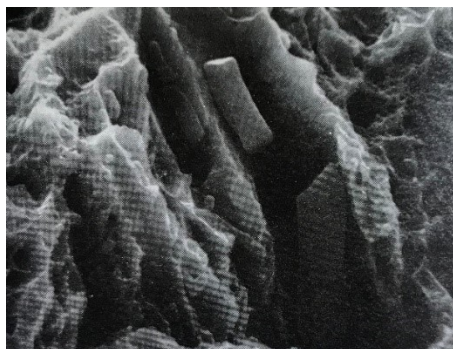
**Chrom, nikl a molybden** segregují při zvýšených obsazích a při rychlém ochlazování drátů vzniká nebezpečí tvorby martenzitického zrna v segregační oblasti. Tyto prvky by se měly v kordových ocelích vyskytovat maximálně do obsahu 0,1 hm. % [3, 5].

## 1.5 Mikročistota v kordových ocelích a její vyhodnocování

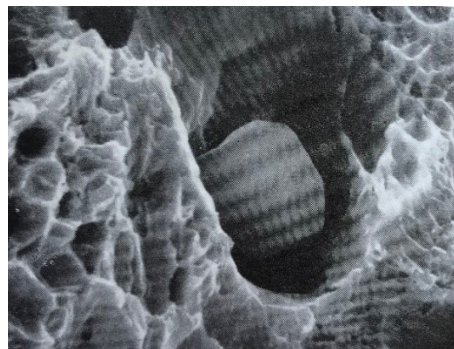
Mikročistota je významný parametr, na němž závisí vlastnosti kordových ocelí. Určuje rozložení, množství a velikost vměstků, které se v kordových ocelích nacházejí v různém chemickém složení. U vměstků v ocelích pro výrobu kordových drátů do automobilových pneumatik je požadováno, aby byly deformovatelné. To znamená, že nekovové částice mohou být deformované při válcování za tepla. Pokud jsou vměstky větší než 2 % průměru vlákna, tak se vlákno může jednoduše porušit během tažení za studena a splétání do pramenů. Navíc, jestli během procesu tažení za studena a splétání stále nedojde k poškození, tak při pozdější dynamické únavové zkoušce může dojít k porušení vlákna. Proto by měly být vměstky v kordových ocelích deformovatelné a obsaženy do velikosti 10  $\mu\text{m}$  [10].

Vměstky v kordových ocelích se dělí na exogenní a endogenní. Mezi hlavní oxidické inkluze patří vměstky typu  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , které jsou velmi nebezpečné z toho důvodu, že jsou

nedeformovatelné. Dále to mohou být např.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  a  $\text{CaO}$ , které svým obsahem nejsou tak škodlivé jako oxid hlinitý. Jelikož síra a dusík jsou vždy přítomny v tekuté oceli, jedná se tedy o sulfidy typu  $\text{MnS}$  a nitridy  $\text{TiN}$ , které jsou přítomné jako endogenní vměstky. U houževnatého lomu vznikají tzv. jamky, ve kterých se nacházejí nekovové vměstky zapříčínující tento lom. Čím je větší rozměr nekovové částice, tím jsou větší jamky. Na **obr. 8** jsou zobrazeny dva druhy vměstků nacházejících se v jamce houževnatého lomu pro ocel s 0,7 hm. % uhlíku s průměrem drátu 5,5 mm [11].



a) Tvárný vměstek

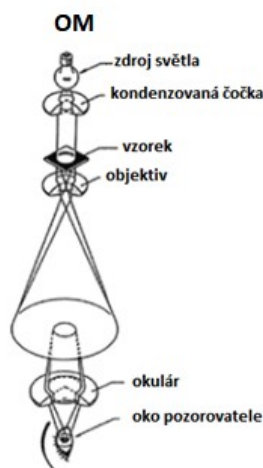


b) Netvárný vměstek

**Obr. 8** Vměstky v jamce houževnatého lomu [11]

Existuje více metod hodnocení mikročistot těchto ocelí, ale podstatou je vždy vyhledání nečistot na preparovaném vzorku. Hodnotí se jak na podélném, tak na příčném řezu. U nalezených nečistot se hodnotí především velikost, typ, tvar vměstků. Mikročistota se vyhodnocuje pomocí elektronových mikroskopů [3].

**Světelný mikroskop** (viz **obr. 9**) lze použít ke stanovení tvaru a velikosti zrn kovové matrice. Obraz je tvořen světlem odráženým od povrchu vzorku. Jelikož hladké povrchy poskytují malý nebo žádný kontrast, daný vzorek se chemicky naleptá ponořením do kádinky, a tím dojde k odhalení skutečné mikrostruktury materiálu pro následné zhodnocení fází ve struktuře. Rozlišení světelného mikroskopu je omezeno difrakcí. Jednou z možností pro zlepšení rozlišení je snížení vlnové délky záření. Nejjednodušší možnost je použití objektivu s olejovou imerzí, mezi vzorek a objektiv se umístí kapka průhledné kapaliny, což vede ke snížení vlnové délky zaostřeného světla. Použití cedrového oleje umožňuje zlepšení rozlišení o 34 %. Světelným zdrojem může být výbojka a výsledný obraz je sledován na fosforové obrazovce, která převádí UV záření na viditelné světlo [12].



**Obr. 9** Světelný (optický) mikroskop [13]

Nejtypičtější metodou hodnocení mikročistoty oceli jsou **srovnávací metody**. Používá se vzorových rovnic, kdy pomocí předloh se přiřazují pozorovaná pole a porovnává se co největší shoda. K pozorovaným polím se přiřazují trestné body. Pokud je v oceli menší výskyt vměstků, bude tak počet trestných bodů nízký. Bude-li však výskyt vměstků vysoký, bude i součet trestných bodů vysoký, ten ovšem nesmí překročit danou hodnotu, protože by se jednalo o ocel s velmi nekvalitní strukturou. Druhy vměstků se hodnotí podle jejich tvaru, velikosti, množství a rozložení [11].

Srovnávací metody s přiřazováním trestných bodů pro metalografické hodnocení kordových drátů se vyhodnocuje na příčných a podelných řezech. Na **podelných řezech** se hodnotí tvárné vměstky po celém výbrusu při 200x až 500x zvětšení. Zaznamenává se největší tloušťka sulfidu nebo silikátů a stupeň znečištění nejhoršího pole podle etalonu. Při vyhodnocování netvárných vměstků (hlinitany, globulární oxidy) se hodnotí jejich poměr šířky a délky, který musí být menší než 3. U titankarbidů se změří tloušťka největšího růžového vměstku, pokud se ve výbrusu vyskytuje. Na **příčných řezech** se vyhodnocují vměstky po celém příčném řezu, kde se určuje maximální rozměr největšího nalezeného vměstku. Dále se zaznamenávají trhliny, šupiny a přeložky s délkou vyšší než 0,1 mm. Trestné body pro povrchové trhliny se určují podle **tab. 2**. Segregace se vyhodnocuje po naleptání v 2 % nitalu a pomocí etalonové řady se přiřazují trestné body. Mezi další způsoby vyhodnocování na příčných řezech patří hodnocení okují, oduhličení, struktury (velikost zrna, nepravidelné zrna), a cementit po hranicích zrn. Pokud není výskyt cementitu, jsou trestné body nulové [3].

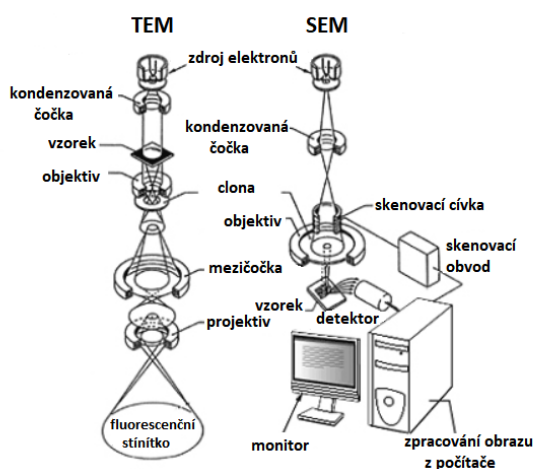


**Tab. 2** Tresné body pro povrchové trhliny [3]

Délka trhliny (mm)	Tresné body
0,15-0,3	1
0,3-0,6	2
0,6-1,0	3
1,0-1,5	4
nad 1,5	5

**Metoda QTM** se zavedla, protože srovnávací metody nesou nevýhody jako, např. nepřesnost způsobená vizuálním stanovením hodnotitele, omezenost v možnosti provádění zkoušek nebo předepsané srovnávací stupnice, které jsou definované pro konkrétní jakost oceli. Kvantitativní stanovení vměstků zajišťuje přístroj Quantimet, který se skládá z mikroskopu s automatickým zaostřováním vzorku. Provede se metalografický výbrus vzorku, který se následně vloží do přístroje a analyzátozem se skenuje celá plocha vzorku. Analyzátor v průběhu hodnocení zaznamenává místo, kde se vměstek nachází, provede měření počtu, tvaru a plochy vměstku a následně jej umožňuje rozřadit do jednotlivých skupin podle chemického složení [11].

V **tranzitním elektronovém mikroskopu (TEM)** elektrony pronikají tenkým vzorkem, a poté jsou zobrazovány vhodnými čočkami. Dříve používané magnetické čočky se nahradily elektrostatickými. Moderní TEM s rozlišením 0,2 nm umožňuje zobrazit jednotlivé atomové roviny nebo sloupce atomů. Napětí se pohybuje mezi 100 kV až 300 kV [12]. Na **obr. 10** je schématické znázornění rozdílu mezi tranzitním a skenovacím elektronovým mikroskopem [13].

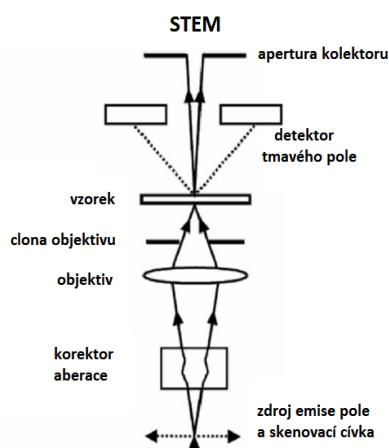
**Obr. 10** Tranzitní a skenovací elektronový mikroskop [13]

Nevýhodou tranzitních elektronových mikroskopů je to, že pokud vzorek není tenký, elektrony jsou ve vzorku silně rozptýleny, dokonce absorbovány. Tato nevýhoda byla důvodem vývoje elektronových mikroskopů, které mohou zkoumat rozměrově objemnější vzorky. **Skenovací elektronové mikroskopy (SEM)**, také zvané řádkovací, jsou podobné světelným mikroskopům, ale mají výhodu v tom, že mají lepší prostorové rozlišení. Pro vytvoření obrazu se využívá princip skenování. Primární elektrony jsou zaostřeny na elektronové sondě o malém průměru, která je skenovaná napříč vzorkem. Elektrostatická nebo magnetická pole přiložená v pravém úhlu k paprsku mohou být použita ke změně směru pohybu. Současným skenováním ve dvou kolmých směrech se bod po bodu skenuje čtvercová nebo obdélníková oblast vzorku (rastr) a obraz této oblasti v průběhu skenování lze vytvořit shromážděním sekundárních elektronů každého bodu na vzorku. Moderní SEM poskytují rozlišení obrazu obvykle mezi 1 nm a 10 nm a mají velkou hloubku ostrosti (vzorky jsou velmi dobře zaostřené). Díky pohybu elektronů v SEM velmi blízko optické osy se získává dobrého rozlišení obrazu [12]. Na **obr. 11** je zobrazena fotografie skenovacího elektronového mikroskopu.



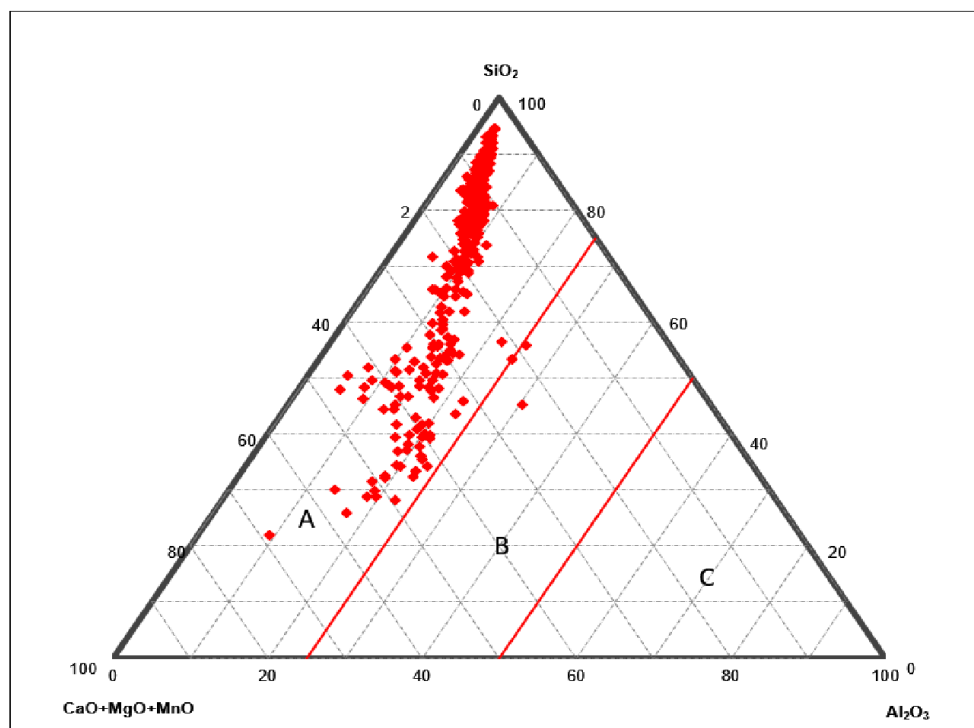
**Obr.11** Skenovací elektronový mikroskop [14]

Je možné použít techniku prozařování tenkým vzorkem se zaznamenáváním elektronů, které vycházejí (v konkrétním směru) z opačné strany vzorku. Výsledkem je **skenovací tranzitní elektronový mikroskop (STEM)**. Oproti konvekčnímu TEM z hlediska prostorového rozlišení jsou elektrony zaostřeny v sondě s rozlišením až 0,05 nm. Zdroj elektronů s horkými vlákny (přeměna elektrické energie na teplo), který se běžně používá u SEM nebo TEM musí být nahrazen zdrojem emise pole, ve kterém jsou elektrony uvolňovány z velmi ostré špičky wolframu působením intenzivního elektrického pole [12]. Na **obr. 12** je zobrazeno schéma skenovacího tranzitního elektronového mikroskopu.



**Obr. 12** Skenovací tranzitní elektronový mikroskop [13]

**Mikročistota podle ternárních diagramů** se vyhodnocuje na řádkovacích neboli skenovacích elektronových mikroskopech. Výsledky z mikroanalýzy nekovových částic se zaznamenávají do těchto diagramů. Ternární diagramy určují rozdělení obsahu vměstků do jednotlivých skupin A, B a C. Do oblasti A se řadí všechny vměstky s výskytem až 76 % s obsahem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  do 25 %, v oblasti B vměstky do 20 % s obsahem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  25-50 % a ve skupině C vměstky méně než 4 % s obsahem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  až 100 % [15]. Na **obr. 13** je pro představu zobrazen ternární diagram pro značku oceli C70K určenou speciálně pro kordy do pneumatik [14].



Sample No.	Frames count	Inclusions count	Inclusions density (inc./cm <sup>2</sup> )	Size of inclusions in micron												Ternary zone		
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>>	A	B	C
C1	30	79	3258	Nº	42	25	9	1	2							78	1	
C2	30	56	2310	Nº	25	20	10	1								56		
C3	30	48	1980	Nº	18	23	7									48		
C4	30	62	2557	Nº	18	25	16		1		1				1	61	1	
C5	30	61	2516	Nº	21	28	9	3								61		
TOT:	150	306	2524	Total	124	121	51	5	3		1				1	304	2	
				%	41%	40%	17%	2%	1%		0%				0%	99 %	1%	0%
DENSITY (inc./cm <sup>2</sup> )																2508	16	0

**Obr. 13** Ternární diagram pro hodnocení mikročistoty pomocí ternárních diagramů [14]

## 2 TECHNOLOGIE VÝROBY A ZPRACOVÁNÍ KORDOVÝCH OCELÍ

Výroba kvalitních kordových ocelí vyžaduje sofistikované postupy tavení, rafinace, odlévání oceli a její následné zpracování válcováním, tažením a splétáním do pramenů.

Tavenina surového železa se vyrábí ve vysoké peci ze vsázky, kterou tvoří železná ruda, koks a struskotvorné přísady (vápenec). V průběhu výroby surového železa je vháněn do pece v oblasti výfucen přehřátý vzduch. Vznikajícími reakcemi v peci se vsázka taví a následně vyrobené surové železo je oddělené od strusky a odpíchnuté do turbomísiců. Pro výrobu kordových ocelí před samotným zpracováním v ocelárnách surové železo putuje na zařízení mimopecního odsíření, kde se do objemu surového železa injektují prachové komplexní odsiřovadla. Odsířené surové železo dále putuje na ocelárny, kde nastává proces zkujňování [3, 16].

V podkapitolách uvedených níže je podrobněji popsán postup výroby v kyslíkových konvertorech, zpracováním na zařízeních sekundární metalurgie, odléváním na zařízení plynulého odlévání a zpracováním kordových ocelí válcováním, tažením, splétáním až po dodávání do závodu specializovaného na výrobu pneumatik pro nánosování ocelových kordů kaučukovou směsí. Takto zpracované ocelové kordy slouží jako výztuž do pneumatik.

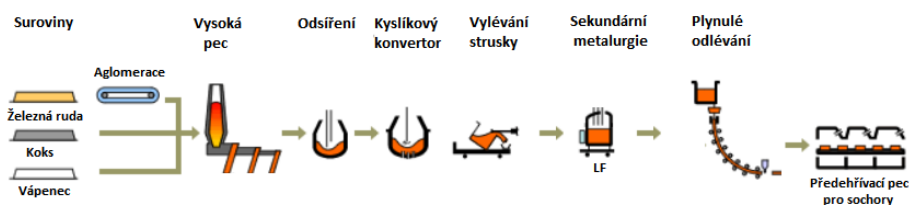
### 2.1 Proces výroby kordových ocelí

Pro výrobu kordových ocelí se používá ocelářského agregátu zvaného kyslíkový konvertor, kde se zkujňuje surové železo, které je odpíchnuté z vysoké pece a následně odsířené na zařízení pro mimopecní odsíření surového železa. Dále vsázku tvoří ocelový odpad a struskotvorné materiály, které se sází do pece společně se surovým železem. Zkujňování surového železa se provádí dmýcháním čistého kyslíku, přiváděného vodou chlazenou tryskou hore. Na konci tavby je zapotřebí dosažení požadovaného chemického složení a definované teploty taveniny. Následuje odpich oceli z konvertoru do lící pánve. Pro úpravu chemického složení, především pro dosažení předepsaného obsahu uhlíku, se v průběhu odpichu přidává do lící pánve nahličovadlo. Dále se ocel leguje pomocí feroslitin FeSi nebo FeMn a přisazuje se syntetická struska. Celková doba procesu od sázení přísad až po odpich trvá cca 40 až 60 minut. Ocel je navíc v průběhu zpracovávání v lící pánvi homogenizována dmýcháním argonu přes porézní tvárnici umístěnou ve dně lící pánve [17].

Následně se ocel zpracovává na zařízeních sekundární metalurgie. Pro dosažení chemické a tepelné homogenity se ocel homogenizuje na homogenizační stanici. Tento proces spočívá v dmýchání inertního plynu (argonu) do oceli současně přes horní keramickou trysku a přes porézní tvárnici umístěnou ve dně lící pánve [17].

Poté se lící pánve s tekutou ocelí přepraví na pánvovou pec LF (Ladle Furnace), kde se provede přehřev oceli na požadovanou teplotu pro odlévání na ZPO pomocí elektrického oblouku, který vzniká mezi grafitovými elektrodami. V případě kordových ocelí je ocel přehřátá cca 20-30 °C nad teplotu likvidu. Pro zajištění homogenizace se současně během zpracování oceli na pánvové peci LF provádí míchání oceli dmýcháním argonu přes porézní tvárnici dnem lící pánve. Dále se také na pánvové peci LF pro dosažení požadovaného chemického složení provádí legování oceli pomocí podavačů plněných profilů [17].

Takto připravená tekutá ocel s požadovaným chemickým složením a teplotou je dále přepravena na zařízení plynulého odlévání. Na ZPO je důležité především dodržení předepsané lící rychlosti. Lící pánve je umístěna do otočného lícího stojanu a ocel se odlévá přes stínící trubici do mezipánve. Ta rozděluje tekutou ocel do jednotlivých lících proudů a přes ponornou výlevku ocel proudí do krystalizátoru, který svým tvarem dává předlitku požadovaný tvar. V případě kordových ocelí se jedná o sochor. Krystalizátor představuje primární zónu chlazení, kdy vzniká pevná vnější kůra, zatímco ve středu předlitku je stále tekuté jádro. Po výstupu z krystalizátoru se předlitek dostává do sekundární zóny chlazení, kde je ochlazován takovou intenzitou, aby byl na konci této zóny utuhlý po celém průřezu. Pro následné zpracování na válcovně se předlitek na konci sekundární zóny chlazení dělí na požadované délky. V poslední fázi se předlitek dostává na vychlazovací lože, které představují terciární zónu chlazení, kde je předlitek ochlazován okolní atmosférou [18]. Schématické znázornění technologického toku výroby ocelových sochorů je zobrazeno na **obr. 14**.



**Obr. 14** Technologický postup výroby ocelových sochorů [19]

## 2.2 Proces dalšího zpracování kordových ocelí

Předehřátý předlitek vystupující z krokové pece se vysokotlakým ostřikem vodou zbavuje okují a dále zpracovává na spojitých drátových tratích (kontidrátové tratě) [20, 21].

Moderní spojitě válcovací tratě drátů umožňují zvýšení válcovací rychlosti za pomoci úplné automatizace. Počáteční polotovary čtvercového průřezu kontinuálně prochází pracovními válci, na kterých jsou vysoustruženy kalibry. Během válcování předlitku na trati se postupně zmenší jeho průřez. V předválcovacím pořadí se nejčastěji nacházejí skříňové kalibry se zaoblenými rohy. V přípravném pořadí jsou válcovací stolice navzájem otočeny o 90° tzv. horizontálně-vertikální uspořádání (H-V). Při válcování drátu se využívá kalibrační řady ovál – kruh, kdy se ze čtvercového sochoru získává tyč. Se zmenšujícím se průřezem klesají potřebné válcovací síly a rychlost válcovaného provalku roste. Následují hotovní bloky, které dodávají drátu jeho finální rozměry a přesnost. V současné době mezi nejpoužívanější hotovní bloky patří bloky H-V typu Schoemann, jejichž výhodou je rychlá výměna za jiné rozměry a snadný přístup v případě poruch [20, 21].

Aby se zabránilo přebytečnému vzniku okují a nerovnoměrné hrubozrnné struktury, zavedlo se řízené ochlazování drátů. Mezi nejznámější způsob řízeného ochlazování patří Stelmor. Je to pohyblivý válečkový dopravník, který vzduchem ochlazuje drát o průměru 5,5 mm rychlostí 4 až 20 °C/s<sup>-1</sup> [20]. **Obr. 15** znázorňuje schéma válcování drátů na rozměr o průměru 5,5 mm.



**Obr. 15** Technologický postup zpracování válcovaného drátu [19]

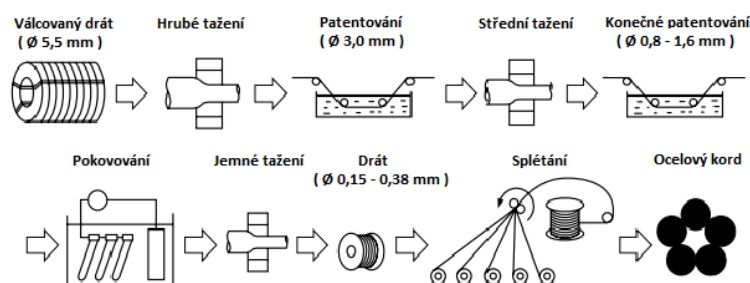
Než začne samotné tažení, musí se povrch drátu upravit odstraněním okují a nanesením nosiče maziva. Odstranění okují lze provádět různými způsoby. Nejrozšířenějším způsobem je moření v kyselinách, nejčastěji v kyselině chlorovodíkové a sírové. Po procesu moření následuje povrchová úprava vodním oplachem na odstranění zbytkových kyselin a nános maziva pro zlepšení přilnavosti drátu v průběhu tažení [20].

Výchozím polotovarem pro tažení za studena je za tepla válcovaný drát o průměru 5,5 mm. Při tažení za studena se průměr drátu zmenší protažením přes kuželový průvlak řadou po sobě následujících nástrojů. Dochází k prodlužování délky drátu za současného

zmenšení průměru drátu. Drát se v průběhu tažení zpevňuje a snižuje se jeho plasticita. Úběry na počátku tažení se volí přibližně v rozmezí 15 až 30 % a postupně se snižují [20].

V průběhu tažení za studena se výrazně zvyšuje pevnost drátu a klesá tažnost. Proto se provádí mezikrok tepelného zpracování, tzv. patentování. Patentování vede k opětovnému snížení pevnosti drátu a zvýšení jeho tažnosti pomocí termomechanických fyzikálních procesů. Na ocelové kordy do pneumatik jsou kladeny vysoké požadavky na pevnost. Z tohoto důvodu je nezbytná mezioperace patentování, která zajišťuje strukturu jemně lamelárního perlitu. Tyče jsou nejprve taženy na průměr v rozmezí 1-2 mm bez mazání. Poté se provádí v peci ohřev v rozmezí teplot 950-1 000 °C, tedy do oblasti austenitu. Nastává chlazení v solných lázních a přeměna na jemný lamelární perlit. Po středním tažení a patentování je drát potažen jemnou vrstvou mosazi nebo bronzu, která působí nejen jako mazivo, ale také zvyšuje adhezi drátu s pryží. Následuje jemné tažení. Finálním průměrem jsou dráty o tloušťce přibližně 0,3 mm a méně [21].

Následuje splétání drátů dohromady. Operace splétání je rozhodující, protože pokud má materiál nedostatečnou tažnost, může dojít k povrchovým vadám a v horším případě k přetržení drátu [21]. Průběh celého zpracování drátu od tažení až po konečné splétání je zobrazen na **obr. 16**.

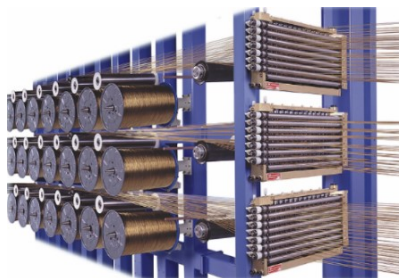


**Obr. 16** Technologický postup zpracování ocelového kordu [22]

Dodávané ocelové kordy se opatřují oboustranným nánosem kaučukových směsí a následným spojením jednotlivých kordových vrstev se zlepšuje pružnost pneumatiky. Tato technologie má příznivý vliv na provoz pneumatiky tím, že zabraňuje kordovým tkaninám vzájemnému dotyku při provozu, tedy snižuje riziko zahřívání a oddělení jednotlivých vrstev. Oproti polyamidovým kordům, které se dodávají v balících, se ocelové kordy dodávají navinuté v uzavřených kazetách. Následně se kordy umístí na cívečnici a jsou odvíjeny do štěrbin čtyřválců, kde dochází k nánosování. Poté jsou navinuté vrstvy kordů proloženy textilní tkaninou a následuje řezání na speciálních ložích. Z navíjecí stanice se kordy přemísť



do zásobníku, kde se zpracovávají řezáním na vložky pro nárazníky, které se nacházejí mezi běhounem a kostrou pláště [1]. Na **obr. 17** je zobrazena cívečnice sloužící pro odvíjení a navádění ocelového kordu do štěrbin čtyřválce.



**Obr. 17** Cívečnice ocelového kordu [23]

### 3 ANALÝZA CELOSVĚTOVÝCH LITERÁRNÍCH ÚDAJŮ O POŽADAVCÍCH NA CHEMICKOU A METALOGRAFICKOU ČISTOTU KORDOVÝCH OCELÍ

Čistota oceli je velice důležitý parametr a v dnešní době poptávka po ocelích o vyšší čistotě každým rokem stoupá. Zlepšení čistoty oceli se stalo důležitým předmětem rozvoje technologie výroby železa a oceli. Poptávka po lepších mechanických vlastnostech oceli vedla ke zlepšení čistoty konečných produktů. Čistotu oceli můžeme rozdělit na chemickou čistotu a metalografickou čistotu [24].

Chemická čistota udává chemické složení nežádoucích prvků, jako je fosfor, síra, dusík, kyslík a vodík, které musí mít co nejnížší obsah. Pro ocelové kordy by se měl obsah vodíku pohybovat maximálně do 2 ppm, dusíku 40 ppm a kyslíku 15 ppm. Tyto prvky mohou mít ve vyšších koncentracích negativní dopad na pevnost v tahu, tváritelnost, odolnost proti praskání [24].

Metalografická čistota představuje nejnížší možný výskyt nekovových částic v oceli. Cílem metalurgů je eliminace nežádoucích vměstků a jejich distribuce za účelem optimalizace vlastností konečného produktu. Nekovové vměstky nelze z ocelí úplně odstranit a jejich rozdělení závisí na faktorech, jako je jakost oceli, způsob tavení, zpracování sekundární metalurgií a odlévání [24].

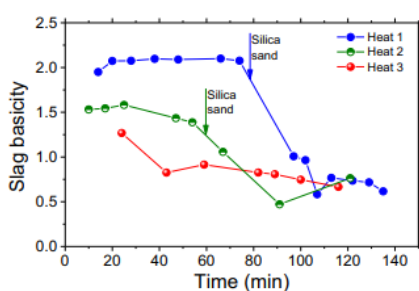
Autoři článku [25] se zabývali třemi technologickými pokusy a termodynamickými výpočty, aby prozkoumali vliv úpravy bazicity strusky na vměstky v kordových ocelích v průběhu procesu rafinace oceli. V **tab. 3** je uvedeno chemické složení kordových ocelí pro pneumatiky.

**Tab. 3** Složení kordových ocelí (hm. %) [25]

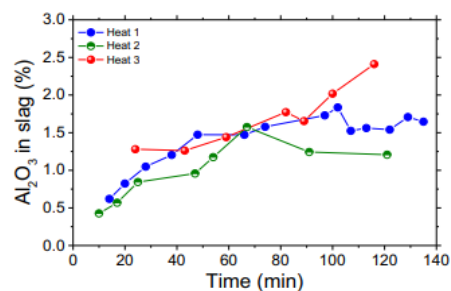
C	Si	Mn	P	S	[Al] <sub>s</sub>	Ca	O <sub>c</sub>
0,79	0,21	0,53	0,01	0,07	<0,0008	<0,0008	0,0010~0,0025

Byly provedeny technologické zkoušky kordových ocelí. Pro dezoxidaci byly přidány slitiny Fe-Si a Fe-Mn s malým množstvím hliníku. Současně bylo přidáno určité množství SiC pro dezoxidaci rafinační strusky. Během procesu rafinace na stanici LF byly každých 5-15 minut odebírány vzorky oceli a strusky. Celkový obsah kyslíku a dusíku byl měřen pomocí analyzátoru LECO metodou infračervené absorpce a tepelné vodivosti. Počet,

velikost a složení vměstků bylo detekováno systémem SEM-EDS. V průběhu zpracování na stanici LF byla použita rafinační struska na bázi  $\text{CaO-SiO}_2$ -4 %  $\text{MgO}$  a její složení se kontrolovalo pomocí rentgenové fluorescenční analýzy. Varianty bazicity strusky v průběhu rafinace pro 3 tavby jsou uvedeny na **obr. 18 (a)**. Pro první tavbu byla bazicita strusky upravena z 2 na 0,8 přidáním křemičitého písku. Ve druhé tavbě se přidáním křemičitého písku změnila bazicita strusky z 1,5 na 0,8 a ve třetí tavbě se bazicita strusky pohybovala v rozmezí 0,8 až 1. Na **obr. 18 (b)** lze vidět, že v průběhu rafinace se obsah  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve strusce zvýšil z 0,5 na 2,5 % [25].



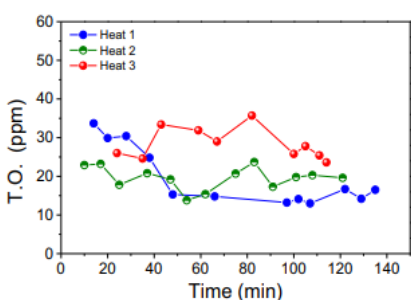
a) Bazicita strusky pro 3 tavby



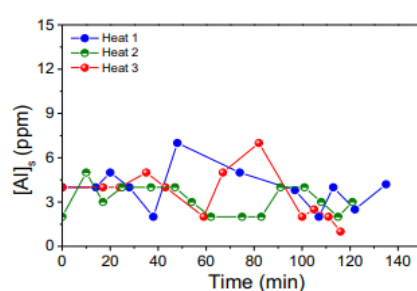
b) Obsah  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve strusce

**Obr. 18** Změny zásaditosti strusky a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve strusce během rafinace na stanici LF [25]

Z **obr. 19 (a)** lze vyčíst, že obsah celkového kyslíku u první tavby byl menší než 15 ppm, kvůli nejvyšší bazicity strusky. U druhé tavby se hodnota celkového kyslíku pohybovala okolo 20 ppm a ve třetí tavbě při nejnižší bazicitě strusky byla hodnota celkového kyslíku v roztavené oceli nejvyšší. Na **obr. 19 (b)** jsou zobrazeny hodnoty  $[\text{Al}]_s$ , které se pohybovaly kolem 1 až 7 ppm [25].



a) Celkový kyslík v oceli



b) Rozpuštěný hliník v oceli

**Obr. 19:** Změna celkového kyslíku a rozpuštěného hliníku v oceli [25]

Před úpravou strusky značně vzrostl obsah  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve vměstcích, které po přidání křemičitého písku začaly mírně kolísat. Z toho plyne, že klesající bazicita strusky v průběhu rafinace může velmi málo snížit vměstky  $\text{Al}_2\text{O}_3$  v kordových ocelích.  $\text{MgO}$  vyskytující se

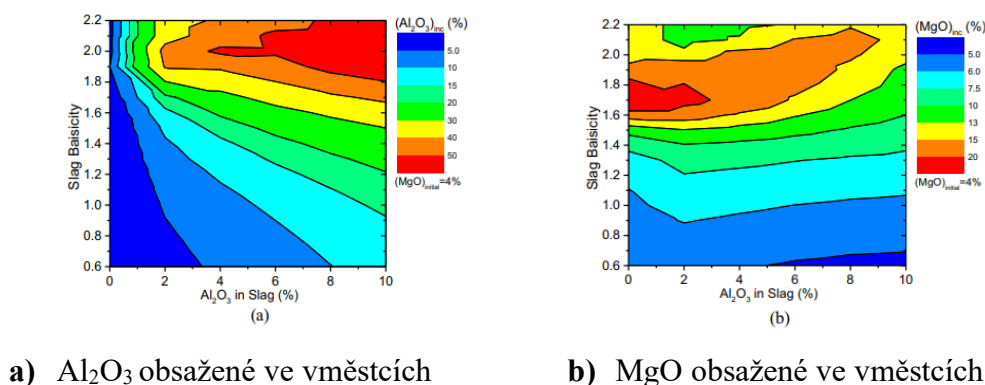
v žáruvzdorném materiálu vede ke zvýšení MgO ve vměstcích. Snížení bazicity strusky přidáním křemičitého písku může vést ke zvýšení SiO<sub>2</sub> vměstků [25].

Termodynamický výpočet vlivu reakcí strusky a oceli se prováděl pomocí FactSage Macro Processing. Byl stanoven hmotnostní poměr struska/ocel na 1/50. V **tab. 4** je uvedeno složení počáteční strusky [25].

**Tab. 4** Složení počáteční strusky [25]

CaO/SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0,6 – 1,8	4 %	0–10 %

Jelikož do roztavené oceli byly v průběhu odpichu přidány slitiny Fe-Si a Fe-Mn, předpokládalo se tedy, že složení vměstků na počátku bylo 45 % SiO<sub>2</sub> a 55 % MnO. V průběhu první a druhé tavby bylo kolísání [Al]<sub>s</sub> způsobeno zvýšením bazicity strusky a snížením Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve strusce. **Obr. 20** zobrazuje vliv složení strusky na Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a MgO obsažených ve vměstcích. Zvýšením bazicity se může významně zvýšit obsah MgO ve vměstcích. Po procesu úpravy strusky u první a druhé tavby však nedošlo k žádnému poklesu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a MgO ve vměstcích, což nebylo termodynamickým výpočtem přesně předpovězeno, pravděpodobně kvůli kinetickému problému [25].



**Obr. 20** Vliv složení strusky na Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a MgO ve vměstcích [25]

V této studii [25] bylo zjištěno, že struska s nízkou bazicitou může účinně zabránit tvorbě vměstků bohatých na Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a struska s vysokou bazicitou je prospěšná pro zlepšení čistoty kordových ocelí určených pro pneumatiky. Během procesu rafinace oceli na stanici LF může úprava bazicity strusky v první tavbě ze 2 na 0,8 jen obtížně snížit obsah Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve vměstcích. Je tedy nutné v průběhu celé rafinace používat strusku s nízkou bazicitou zabraňující tvorbě vměstků obsahujících Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Termodynamický výpočet stanovil, že Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

obsažený ve vměstcích lze snížit na méně než 5 % snížením bazicity strusky a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve strusce. Zvýšení bazicity může zvýšit MgO ve vměstcích, což je v souladu s experimentálními výsledky [25].

Článek [26] pojednává o rozvoji vměstků v dezoxidovaných ocelích pomocí Si-Mn. Byl proveden průmyslový experiment, kdy byly odebírány vzorky oceli značky LX82A v průběhu rafinace. Současně byly provedeny laboratorní experimenty k bližšímu zkoumání vlivu slitin, rafinační strusky a žáruvzdorných materiálů v kombinaci s jedním ze vzorků oceli z průmyslového experimentu.

Složení konečné strusky a slitin použitých v experimentu jsou zobrazeny v **tab. 5** a **tab. 6**. Bazicita strusky ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ) uvedená v **tab. 5** činila 0,9 [26].

**Tab. 5** Složení konečné strusky (hm. %) [26]

CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	Bazicita
39,3	43,8	6,1	1,1	1,1	5,3	0,9

**Tab. 6** Složení slitin použitých v experimentech (hm. %) [26]

Slitina	Mn	Si	Al	Ca	Mg	S	P
Fe-Si	0,3	75,8	0,03	0,030	0,003	0,010	0,005
Fe-Mn	82,0	1,2	0,03	0,006	0,005	0,009	0,130

Pro průmyslový experiment během procesu rafinace byly odebrány 4 vzorky oceli. První vzorek byl odebrán hned na začátku procesu při teplotě 1482 °C, druhý vzorek v čase 45 minut a při teplotě 1518 °C, na konci rafinace v čase 60 minut při teplotě 1529 °C byl odebrán třetí vzorek a čtvrtý vzorek po prodmychání v čase 110 minut při teplotě 1508 °C [26].

Pro provedení laboratorního experimentu byl použit první vzorek z průmyslového experimentu a následně rozřezán na několik kusů. Experiment se prováděl pomocí elektrické odporové pece. Do držáku pece se umístil MgO kelímek obsahující kusovou ocel a strusku ve formě pelet. Po dosažení teploty v peci 1600 °C byl kelímek spuštěn do rovnoměrné teplotní zóny reakční trubice po dobu 20 minut. Po 120 minutách byl vzorek zvednut do hasicí komory a uhašen komorou s vysokou rychlostí proudění argonu [26].

Žárovzdorný materiál byl rozřezán na jednotlivé desky a vložen do muflové pece při teplotě 1100 °C, kvůli vypálení uhlíku obsaženého v žáruvzdorném materiálu. Oduhličená žáruvzdorná deska se vložila na dno MgO kelímku společně s kusovou ocelí. Po 60 minutách reakce byl kelímek obdobně jak u předchozího experimentu hašen v komoře [26].

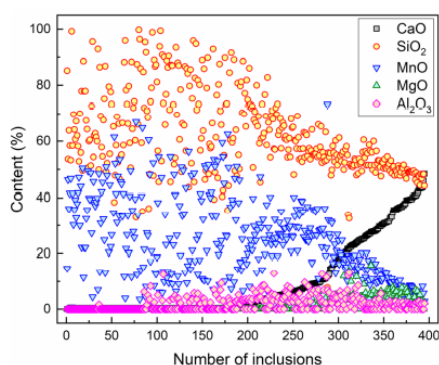
Chemické složení vzorků z průmyslového experimentu je uvedeno v **tab. 7**. Z této tabulky je patrné, že obsah Al, Ca a Mg v oceli je nízký. Obsah Al je 9 ppm a obsah Ca a Mg je nižší než 2 ppm. Aktivita rozpuštěného kyslíku v průběhu rafinace se pohybovala kolem 20 ppm [26].

**Tab. 7** Chemické složení vzorků ocelí (hm. %) [26]

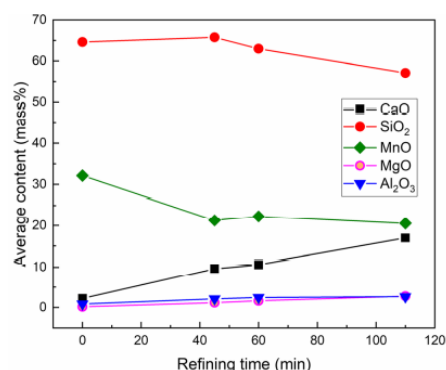
Číslo vzorku	Čas (min)	T (°C)	C	Si	Mn	Cr	Al	Ca	Mg	$a_{[O]}$
1	0	1482	0,74	0,16	0,43	0,023	0,0009	0,0002	0,0001	0,0022
2	45	1518	0,80	0,18	0,52	0,022	0,0009	0,0001	0,0001	0,0020
3	60	1529	0,81	0,18	0,52	0,022	0,0009	0,0002	0,0001	0,0019
4	110	1508	0,82	0,20	0,53	0,023	0,0009	0,0001	0,0001	0,0017

\*Měřeno kyslíkovou sondou.

Na **obr. 21 (a)** je zobrazeno jednotlivé složení každého vměstku a počet těchto vměstků je seřazen podle obsahu CaO. Obsahy  $Al_2O_3$  a MgO jsou nižší než 10 %, zatímco obsahy  $SiO_2$  a MnO jsou široce rozptýleny. Pokud se jedná o průměrné složení každého vzorku, zobrazeno na **obr. 21 (b)**, tak obsah CaO, MgO a  $Al_2O_3$  roste s poklesem  $SiO_2$  a MnO během procesu rafinace [26].



a) Rozsah složení

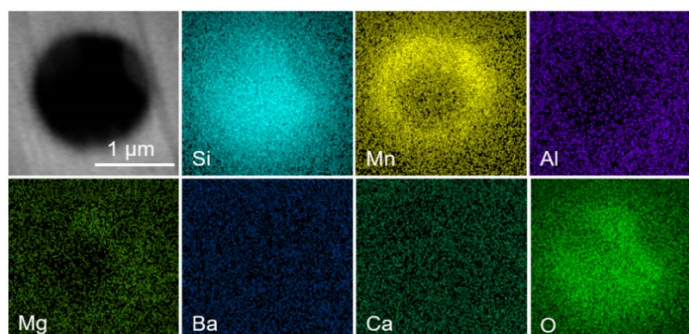


b) Průměrné složení

**Obr. 21** Složení vměstků v průmyslové oceli [26]

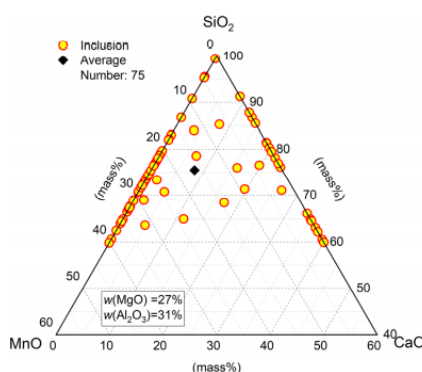
K analýze složení vměstků byl použit systém CaO-MnO- $SiO_2$ . S reakční dobou stoupal počet vměstků obsahujících CaO a zvýšil se také počet vměstků v kapalně fázi [26].

Na **obr. 22** je zobrazen vměstek na bázi MnO-SiO<sub>2</sub> při sledování strusky v laboratorních experimentech. Tento vměstek s ostrůvkem SiO<sub>2</sub> byl nalezen na povrchu po 2 hodinách reakce se struskou [26].



**Obr. 22** Elementární zobrazení vměstků na bázi MnO-SiO<sub>2</sub> [26]

Po experimentu se žáruvzdorným materiálem je distribuce složení vměstků vyobrazena na **obr. 23**. Po tomto experimentu se počet vměstků snížil. Obsah Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a MgO ve vměstcích se prudce zvýšil. Použití žáruvzdorného materiálu hraje důležitou roli při modifikaci vměstků na bázi MnO-SiO<sub>2</sub> na vměstky CaO-SiO<sub>2</sub> [26].



**Obr. 23** Distribuce složení vměstků po experimentu se žáruvzdorným materiálem [26]

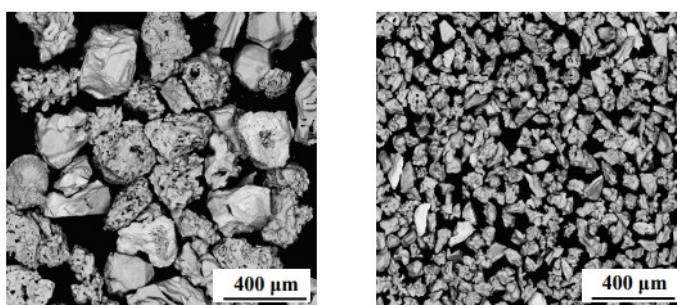
V tomto článku [26] byly provedeny průmyslové a laboratorní experimenty ke zkoumání vlivu slitin, rafinační strusky a žáruvzdorného materiálu na vývoj vměstků v dezoxidované oceli pomocí Si-Mn. Bylo zjištěno, že vměstky se v průběhu procesu rafinace modifikují z vměstků na bázi MnO-SiO<sub>2</sub> na vměstky CaO-MgO-SiO<sub>2</sub>, a poté na vměstky typu CaO-SiO<sub>2</sub> s obsahem malého množství MgO a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Zvýšení obsahu CaO ve vměstcích je způsobeno snížením MnO a SiO<sub>2</sub> v průběhu rafinace oceli. Rozpuštění Al a Mg v tekuté oceli může vést ke zvýšení Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a MgO ve vměstcích [26].

Laboratorním experimentem se zjistilo, že jak slitiny, tak rafinační struska dodávají velmi omezené množství Ca do tekuté oceli a je obtížné vést modifikaci vměstků na bázi MnO-SiO<sub>2</sub> na vměstky typu CaO-SiO<sub>2</sub>. Použití žáruvzdorného materiálu obsahujícího CaO je hlavním důvodem, proč v tomto experimentu dochází k tvorbě vměstků na bázi CaO-MnO-SiO<sub>2</sub>, a proto se tento žáruvzdorný materiál nedoporučuje používat pro kordovou ocel [26].

Autoři článku [27] se pokoušeli zkombinovat experiment přetavování pomocí elektrické indukční pece s kinetickým modelem rozpouštění částic TiN v tekuté oceli za účelem analýzy a možnosti řízení možného vzniku velkého vměstku TiN pro vysokopevnostní kordovou ocel využívanou v pneumatikách.

Příprava částice TiN se prováděla pomocí muflové pece, do níž se vložila titanová houba, která se nitridovala po dobu 3 hodin při teplotě 1300 °C. Na **obr. 24** jsou zobrazeny dvě různé velikosti částic získány rozdrcením a proséváním [27].



a) 50-74 μm

b) 100-180 μm

**Obr. 24** Morfologie TiN částic různých velikostí [27]

Z ocelového sochoru odebraného z výrobního procesu se nařezal vzorek, který byl po vyleštění přetaven ve vakuové indukční peci. Přes násypku vakuové komory se přidávaly částice TiN do roztavené lázně a poté následoval odpich. V **tab. 8** jsou uvedeny podmínky pro přetavení vzorku oceli a v **tab. 9** je uvedeno počáteční složení vzorku oceli a dvou ingotů po přetavení [27].

**Tab. 8** Podmínky přetavování vzorků oceli [27]

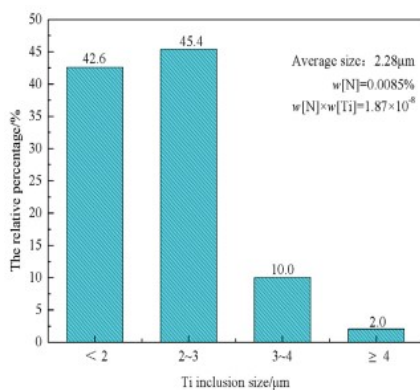
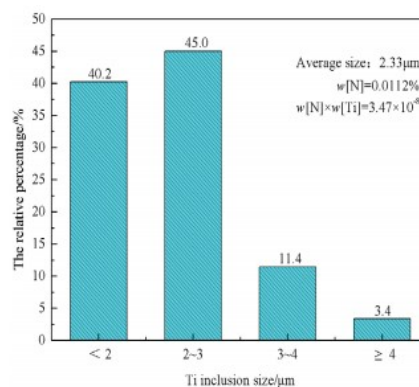
Označení	Jakost oceli	Hmotnost (kg)	Přídavný materiál	Další proces
1#	82A	10,9	50-74 (μm) TiN 6,5 (g)	Ar
2#	82A	11,5	100-180 (μm) TiN 7,5 g	Ar



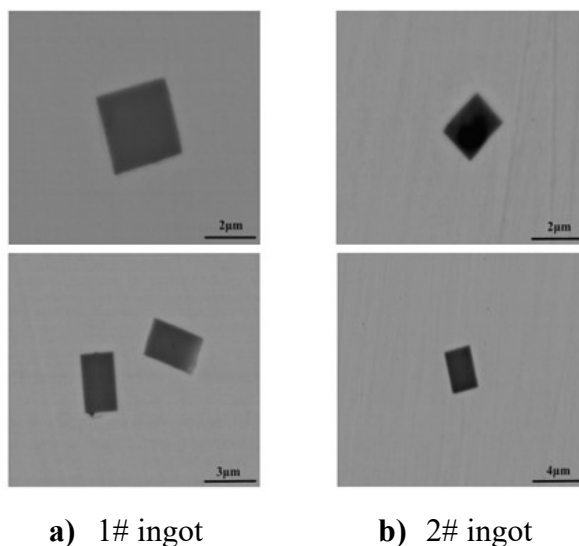
**Tab. 9** Chemické složení vzorku oceli a ingotů po přetavení (hm. %) [27]

Označení	C	Si	Mn	P	S	Ti	N	O <sub>c</sub>
Počáteční vzorek	0,82	0,20	0,56	0,018	0,056	0,001	0,004	0,002
1# ingot	0,81	0,20	0,55	0,019	0,0061	0,022	0,0085	0,0033
2# ingot	0,82	0,19	0,55	0,019	0,0058	0,031	0,0112	0,0028

Pro analýzu obrazu se využíval software MIAS, ten sloužil ke shromažďování statistik o distribuci velikostí vměstků TiN v metalografických vzorcích. Výsledky pozorovaných 50 polí (viz **obr. 25**) zobrazují distribuci velikostí vměstků i průměrnou velikost vměstků TiN v obou ingotech [27].

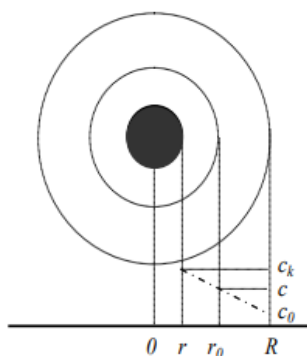
**a) 1# ingot****b) 2# ingot****Obr. 25** Distribuce velikostí TiN vměstků ve vzorcích [27]

Z **obr. 26** je patrné, že i když během přetavování velikost částic přidaných do druhého ingotu viz **obr. 26 (b)** během přetavování byla dvakrát větší než u prvního ingotu viz **obr. 26 (a)**. Distribuce TiN vměstků ve vzorcích a jejich průměrná velikost je téměř stejná. Pozorované vměsky TiN v přetavené oceli se vytvářejí hlavně během procesu tuhnutí. V průběhu testovací analýzy nebyly nalezeny nerozpuštěné částice TiN, které mají větší rozměr než 8 μm [27].



**Obr. 26** Morfologie TiN vměstků pomocí SEM [27]

Aby bylo možné prozkoumat chování rozpouštění cizích částic TiN a odhadnout jejich rychlost rozpouštění v tekuté oceli, je nastaven model (viz **obr. 27**) rozpouštění částic TiN [27].



**Obr. 27** Rozpouštěcí model TiN částic [27]

kde	$r_0$	- původní poloměr částice TiN (cm),
	$r$	- poloměr TiN částic po čase $dt$ (cm),
	$R$	- tloušťka mezní vrstvy difúze (cm),
	$c_k$	- rovnovážná hmotnostní koncentrace N v tekuté oceli ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ),
	$c_0$	- počáteční hmotnostní koncentrace N v tekuté oceli ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ),
	$c$	- hmotnostní koncentrace dusíku po čase $dt$ při $r_0$ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ).

Cizorodé částice o průměru 180  $\mu\text{m}$  mohou být zcela rozpuštěny v tekuté oceli za velmi krátkou dobu. Pokud existovaly cizorodé částice TiN, které se dostaly do taveniny během výrobního procesu na ZPO, bude jejich čas úplného rozpouštění kratší [27].

V tomto článku [27] se autoři zabývali zkušební analýzou TiN vměstků v přetavených vzorcích oceli 82A, která ukázala, že ačkoliv velikost částic přidaných do dvou ingotů měla velký rozdíl, distribuce velikosti TiN vměstků v ingotech byla téměř stejná a průměrná velikost byla také velmi podobná. Pomocí analýzy SEM se zjistilo, že většina z nich dobře krystalizuje a má stejné morfologické charakteristiky s vměstkami TiN, které se vysrážely v průběhu procesu tuhnutí. Z toho vyplývá, že se tyto vměstky během tuhnutí tvoří častěji než nerozpuštěné přidané částice TiN.

Podle zavedeného kinetického modelu rozpouštění částic TiN je rychlost rozpouštění cizích částic TiN v tekuté oceli velmi rychlá. Experiment přetavování ve vakuové indukční peci a model rozpouštění částic TiN ukazují, že rozměrově velký vměstek TiN se nachází v drátu nejpravděpodobněji z procesu plynulého odlévání oceli [27].

V článku [28] byly provedeny experimenty v závodech a laboratořích ke zkoumání deformace a lomu nekovových vměstků v oceli při různých teplotách.

Pro analýzu byl použit systém vměstků na bázi  $\text{SiO}_2\text{-MnO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ . Kordové oceli s chemickým složením uvedeným v **tab. 10**, obsahující vměstky s nízkou teplotou tání a vměstky bohaté na  $\text{SiO}_2$  s vysokou teplotou tání, se rafinovaly struskou s vysokou bazicitou (HBS) a struskou s nízkou bazicitou (LBS) [28].

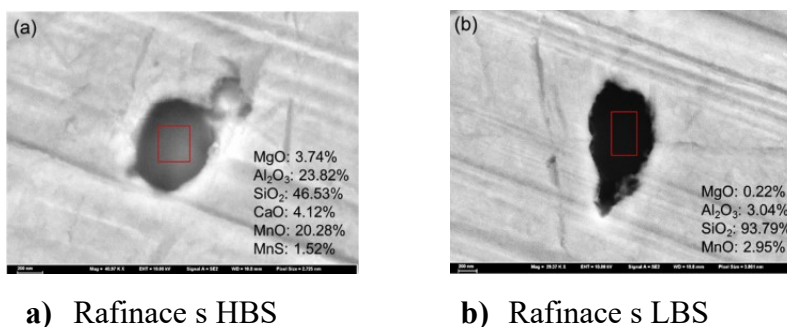
**Tab. 10** Chemické složení zkoumané oceli (hm. %) [28]

C	Si	Mn	P	S
0,79	0,21	0,53	0,01	0,007

Vyrobené předlitky byly znovu ohřáté na 1020 °C a poté válcovány za tepla s doválcovací teplotou 940 °C. Vměstky v tyčích válcovaných za tepla, jejichž snížení z rafinačních taveb HBS a LBS bylo přibližně 80-90 %, byly použity k analýze deformace při vysoké teplotě [28].

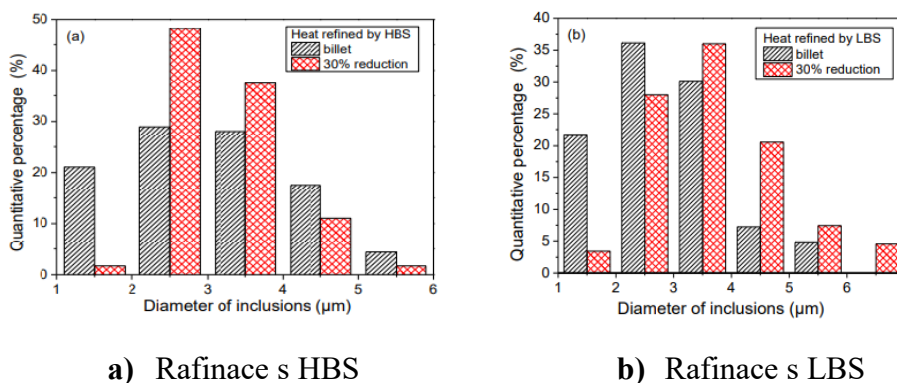
Za účelem zkoumání deformace vměstků při nízké teplotě byly ze sochorů, určených pro kordové oceli, u nichž se prováděla rafinace pomocí HBS a LBS, zhotoveny kulaté tyče o průměru 10 mm. Poté byly tyče válcovány za studena s redukcí 30 % pomocí simulované válcovací stolice v laboratoři. Následně se z tyčí odebíraly vzorky, které byly zkoumány na podélném řezu pomocí SEM-EDS. Braly se v úvahu pouze oxidické vměstky, ve kterých byl hmotnostní zlomek MnS menší než 10 procent [28].

Po válcování za studena se složení oxidických vměstků změnilo jen málo. Na **obr. 28** je zobrazena morfologie vměstků ve vzorcích oceli dvou taveb s použitím různých rafinačních strusek po válcování za studena. Z označeného složení na obrázku v tavbě s HBS byl vměstek s nízkou teplotou tání těžko deformovatelný viz **obr. 28 (a)**. Z tavby s využitím rafinace pomocí LBS viz **obr. 28 (b)**, se nacházel vměstek s téměř čistým  $\text{SiO}_2$  a vysokou teplotou tání, který vykazoval větší deformovatelnost [28].



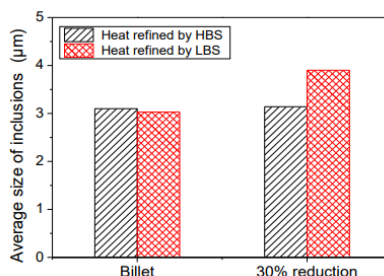
**Obr. 28** Morfologie vměstků ve vzorcích oceli po válcování za studena [28]

Na **obr. 29** je zobrazena distribuce velikosti vměstků v sochoru a za studena válcovaných tyčí. V tavbě s rafinací pomocí HBS se zvýšilo kvantitativní procento 2-4  $\mu\text{m}$  vměstků, což vedlo ke koncentrovanější distribuci velikosti viz **obr. 29 (a)**. V tavbě, ve které se prováděla rafinace pomocí LBS, viz **obr. 29 (b)**, se kvantitativní procento 1-3  $\mu\text{m}$  vměstků snížilo, zatímco 3-7  $\mu\text{m}$  vměstků se zvýšilo [28].



**Obr. 29** Distribuce velikosti vměstku v tavných rafinovaných HBS a LBS [28]

U tavby, kde proběhla rafinace s použitím HBS byla průměrná velikost vměstků po válcování za studena nezměněna, jak je zobrazeno na **obr. 30**. U rafinace s použitím LBS v druhé tavbě se zvýšil počet 3-7  $\mu\text{m}$  vměstků, což vede ke vzájemnému zvýšení průměrné velikosti vměstků po válcování za studena [28].



**Obr. 30** Průměrná velikost vměstků před a po válcování za studena [28]

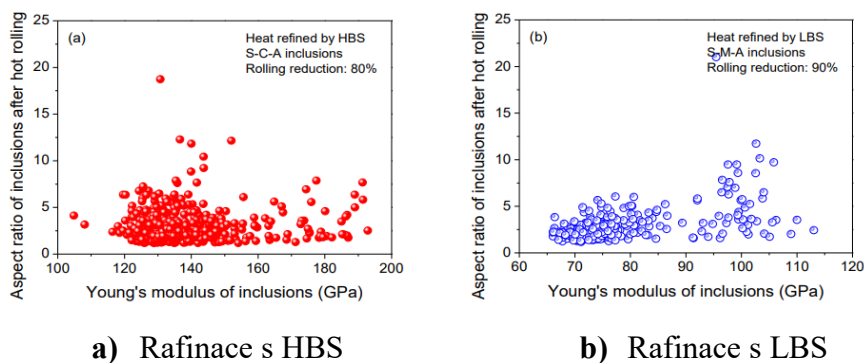
Dále byl experimentálně analyzován vztah mezi deformací vměstků při vysokých a nízkých teplotách, jejich viskozitou a Youngovými moduly. Tzv. viskozity vměstků byly vypočítány pomocí softwaru FactSage. Youngovy moduly, vypočítané z empirických vzorců, byly hodnoceny pro nízkou teplotu [28].

Viskozity vměstků lze získat podle následujícího vztahu [29]:

$$\mu_0 = \frac{T}{1,17 \cdot 10^6} \cdot \exp \left[ \left( \frac{1000}{T} - 0,27 \right) \cdot B \right] \quad (1)$$

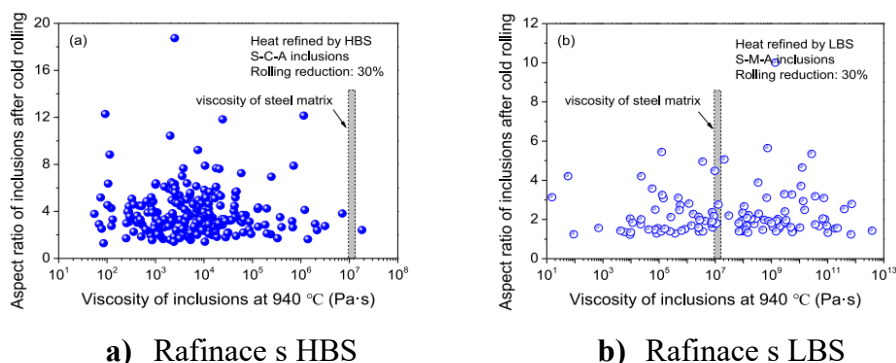
kde  $\mu_0$  - viskozita vměstků (Pa·s),  
 $T$  - teplota (°C),  
 $B$  - parametr, závislý na chemickém složení vměstků (-).

Deformaci vměstků při vysoké teplotě lze charakterizovat viskozitou. Nižší viskozita vměstků vede k lepší deformovatelnosti. Aby bylo možné vyhodnotit charakterizaci deformovatelnosti vměstků při vysoké teplotě pomocí Youngova modulu, byl analyzován vztah mezi poměrem stran vměstků po válcování za tepla a Youngovým modulem vměstků, jak je znázorněno na **obr. 31**, ze kterého lze vyčíst, že mezi nimi nebyl žádný zjevný vztah [28].



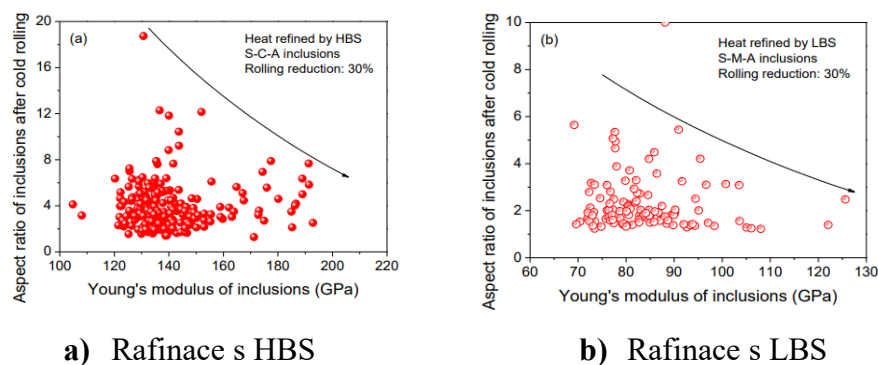
**Obr. 31** Vztah mezi poměrem stran a Youngovým modulem po válcování za tepla [28]

Na **obr. 32** je zobrazen vztah mezi poměrem stran a viskozitou vměstků v tavbách s rafinací pomocí (a) HBS a (b) LBS po válcování za studena. Nízkoteplotní deformace vměstků neměla žádný zjevný vztah s viskozitou vměstků [28].



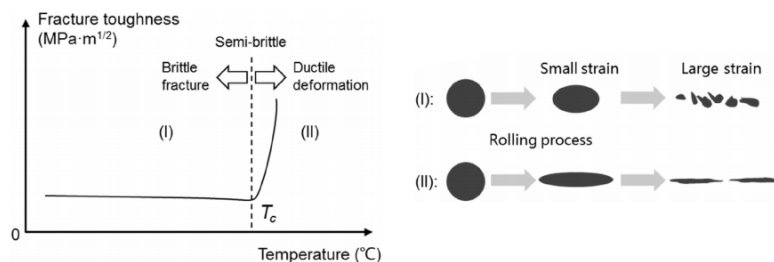
**Obr. 32** Vztah mezi poměrem stran a viskozitou vměstků po válcování za studena [28]

Poměr stran vměstků při nízké teplotě rostl s poklesem Youngova modulu vměstků, jak je zobrazeno na **obr. 33** [28].



**Obr. 33** Vztah mezi poměrem stran a Youngovým modulem po válcování za studena [28]

Základním důvodem různých charakterizačních parametrů měla být změna mechanických vlastností mezi křehkým a tvárným lomem (BDT) v procesu změny teploty. Vměstky typu  $\text{SiO}_2\text{-MnO-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  vykazují BDT, což má za následek odlišné deformační chování vměstků při různých teplotách, což je uvedeno na **obr. 34**, kde je zahrnuto vnitřní chování vměstků. Při teplotách vyšších než  $T_c$ , tedy oblasti (II), vykazuje lomová houževnatost vměstků nárůst a vměstky se chovají jako viskózní tekutina. Když je teplota nižší než  $T_c$ , tedy oblast (I), vměstky se postupně mění na elastické pevné látky. V tomto případě lomová houževnatost prudce klesá, což vede ke snadnějšímu lomu vměstků [28].



**Obr. 34** BDT a deformace vměstku při různých teplotách [28]

Autoři článku [28] experimentálně prozkoumali deformaci nekovových vměstků při různých teplotách a byly získány následující závěry.

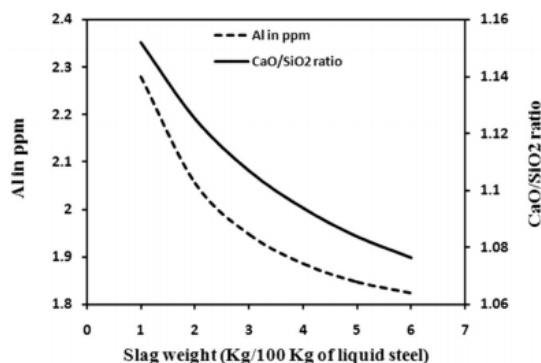
Na základě vlastností vměstků po válcování za tepla lze deformaci vměstků při vysoké teplotě charakterizovat jejich viskozitou. Nižší viskozita vměstků vede k lepší deformovatelnosti [28].

K charakterizaci deformace vměstků v oceli při nízké teplotě lze použít spíše nízkoteplotní Youngův modul než viskozitu. Obecně se deformace vměstků při nízké teplotě zvyšovala s poklesem Youngova modulu [28].

Skutečným důvodem pro různé charakterizační parametry deformace vměstků při různých teplotách měl být BDT fenomén vměstků během změny teploty, který poskytl nový způsob řízení deformace vměstků [28].

Tento článek [30] se zabývá experimentálním zkoumáním pro hodnocení vhodného složení strusky a pro zjištění její účinnosti s ohledem na kontrolu vměstků v kordových drátech. Termodynamické výpočty se prováděly pomocí softwaru FactSage.

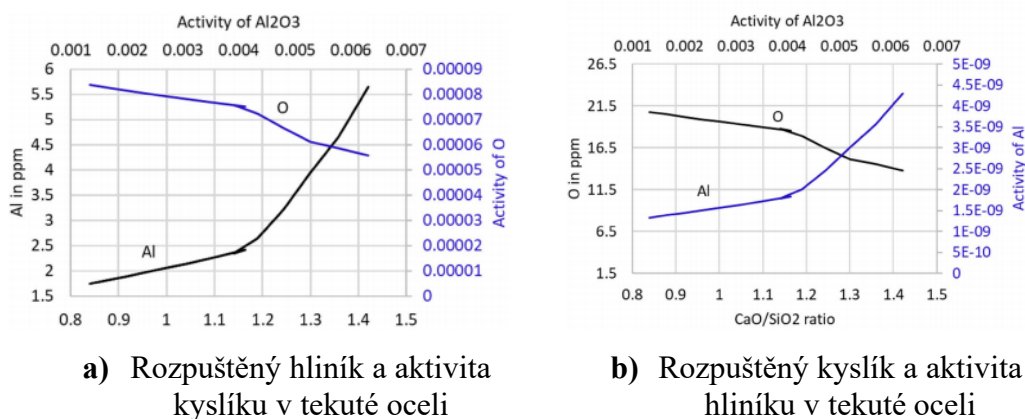
Stanovený binární fázový diagram pro systém  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  byl v poměru  $\text{CaO/SiO}_2 = 1$ . Pro studium rovnováhy mezi struskou a kovem bylo při teplotě 1600 °C uvažováno složení strusky obsahující  $\text{CaO/SiO}_2 = 0,8\text{-}1,5$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 6\text{-}20$  %. Také bylo analyzováno chemické složení válcovaného kordového drátu. Na **obr. 35** jsou uvedeny výsledky přidání syntetické strusky se složením 46 %  $\text{CaO}$ , 46 %  $\text{SiO}_2$  a 8 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  do tekuté oceli po reakci mezi struskou a kovem [30].



**Obr. 35** Vliv množství strusky na obsah [Al] v tekuté oceli a konečnou zásaditost strusky [30]

Se zvýšením hmotnosti syntetické strusky přidané do tekuté oceli klesá rovnovážný obsah [Al] v tekuté oceli ze 2,3 ppm na 1,8 ppm. Konečná struska obsahuje po reakci mezi struskou a kovem přibližně 3,5 hm. % MnO [30].

Na **obr. 36** je zobrazen účinek poměru CaO/SiO<sub>2</sub> a aktivity Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na chemické složení v tekuté oceli v důsledku přidání 2 hm. % strusky s 8 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Aktivita Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> v syntetické strusce se zvýšila z 0,001 na 0,007, zatímco se zvýšil poměr CaO/SiO<sub>2</sub> z 0,8 na 1,5. Z **obr. 36 (a)** je patrné, že struska se zásaditostí méně než 1,2 snižuje obsah hliníku v tekuté oceli pod 2,5 ppm. Z **obr. 36 (b)** je také odvozeno, že rozpuštěný hliník v tekuté oceli stoupá nad 2,5 ppm spolu s poklesem rozpuštěného kyslíku z 18 ppm během přidávání nízkobazických strusek [30].



**Obr. 36** Vliv poměru CaO/SiO<sub>2</sub> a aktivity Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [30]

Pro experimentální zkoumání sloužily jako výchozí materiál kordové válcované tyče o průměru 5,5 mm [29]. Chemické složení této oceli je uvedeno v **tab. 11**.



**Tab. 11** Chemické složení válcovaného drátu (hm. %) [30]

Vzorek	C	Mn	S	P	Si	N	Cr
5,5 mm průměr	0,755	0,727	0,014	0,016	0,183	0,0062	0,131

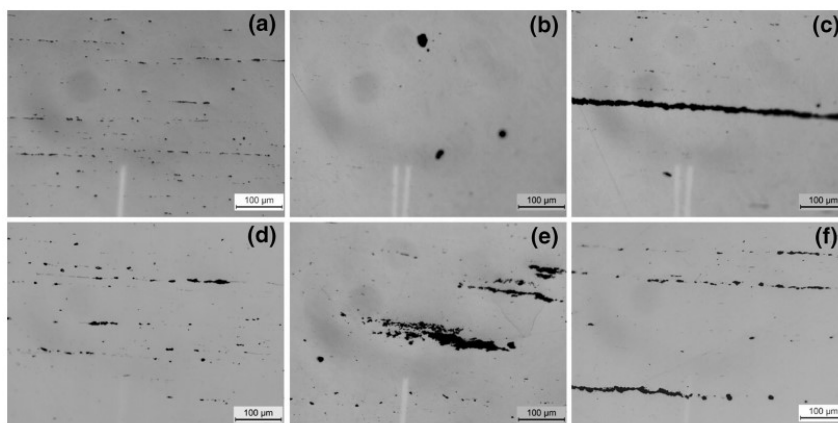
Byla připravena syntetická struska s nízkou zásaditostí ( $\text{CaO/SiO}_2 = 0,9-1,2$ ) a nízkým obsahem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (max. 10 %) v indukční peci pomocí grafitového kelímku. Laboratorní čistý prášek  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  byl smíchán v požadovaném množství a vložen do vzduchové indukční pece. Po roztavení byla struska vyjmuta z pece a ochlazená vzduchem. Ochlazená struska byla dále rozdrobena na požadovanou velikost. Složení této strusky je uvedeno v **tab. 12** [30].

**Tab. 12** Složení syntetické strusky (hm. %) [30]

Složení	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/SiO <sub>2</sub>
	46,2	46,3	7,8	0,99

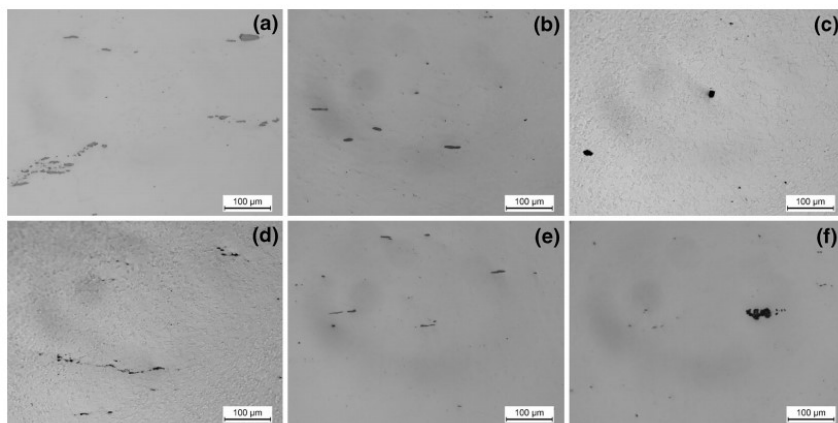
Pro experiment tavení a rafinace byla použita vakuová indukční pec, do které byly vloženy válcované tyče. Teplota se pomalu zvyšovala na teplotu tavení materiálů. Poté byly do lázně přidávány legující prvky a syntetická struska pro reakci mezi struskou a kovem. Reakce mezi struskou a kovem pokračovala po předem stanovenou dobu (15-30 minut) uvnitř pece. Následně se tekutá ocel odlila do forem. Ingoty se poté ochlazovaly na vzduchu. Vzorky strusky z horní části ingotu a z vyzdívky pece byly shromážděny a odeslány na chemickou analýzu [30].

Optické mikrofotografie vměstků ve válcovaném drátu o průměru 5,5 mm (bez syntetické strusky) jsou zobrazeny na **obr. 37**. Fotografie byly pořízeny v podélném řezu z nejméně příznivého pole každého vzorku. Z mikrofotografií lze usoudit, že sulfidické vměstky a křemičitany jsou protáhlé a deformovatelné, tedy jsou méně škodlivé z hlediska mechanických vlastností válcovaného drátu [30].



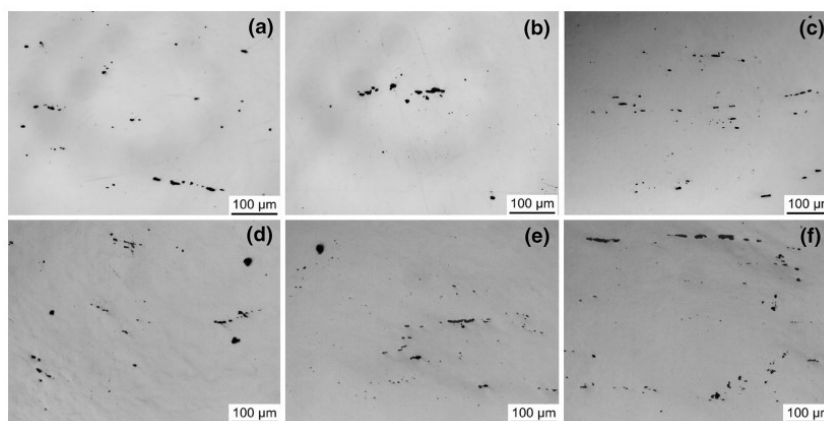
**Obr. 37** Optické mikrofotografie vměstků ve válcovaném drátu o průměru 5,5 mm [30]

Optické mikrofotografie vměstků ve válcovaném drátu o průměru 5,5 mm z první tavby (se syntetickou struskou) jsou zobrazeny na **obr. 38**. Tyto vzorky byly ponechány ve vakuové peci po dobu 30 minut. Optické mikrofotografie znázorňují významné zlepšení čistoty vzorků oceli ve srovnání se vzorky bez použití syntetické strusky. Mikrofotografie odhalují menší objemový podíl vměstků menších velikostí. Většina vzorků téměř neobsahovala škodlivé vměsky [30].



**Obr. 38** Optické mikrofotografie vzorků získaných z první tavby [30]

Optické mikrofotografie vměstků ve válcovaném drátu o průměru 5,5 mm z druhé tavby (se syntetickou struskou) jsou zobrazeny na **obr. 39**. Vzorky z této tavby byly připravovány v peci po dobu 15 minut. Optické mikrofotografie zobrazují, že tato doba není dostatečná pro zlepšení čistoty oceli ve srovnání s první tavbou [30].



**Obr. 39** Optické mikrofotografie vzorků získaných z druhé tavby [30]

V tomto článku [30] se autoři zabývali experimentálním výzkumem týkajícím se kontroly vměstků v kordových drátech pro použití v pneumatikách. Výsledky vývoje syntetických strusek s vhodným složením pro kontrolu vměstků v těchto drátech jsou shrnuty níže.

Syntetické strusky s nízkou zásaditostí ( $\text{CaO/SiO}_2 = 0,9-1,2$ ) a nízkým obsahem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (max. 10 %) mohou kontrolovat škodlivé vměstky pro vývoj kvalitních drátů s vysokým obsahem uhlíku. Syntetická struska se složením  $\text{CaO/SiO}_2 = 1$  s  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (8 %) se považuje za vhodnou pro kontrolu vměstků [30].

Významného zlepšení hodnocení vměstků ve vzorcích válcovaných za tepla připravených indukčním tavením se dosáhlo udržováním doby na 30 minutách s průběhem reakce mezi struskou a kovem [30].

Reakční doba 15 minut mezi struskou a kovem není dostatečná pro významné zlepšení hodnocení vměstků za použití těchto strusek. Tato doba také ovlivňuje morfologii a složení vměstků [30].

## 4 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo provést analýzu o významu chemické a metalografické čistoty kordových ocelí.

V první části práce je uvedena teoretická charakteristika, rozdělení a vlastnosti ocelí, které slouží jako kordová výztuž pneumatik s popisem jednotlivých komponentů pneumatiky. Následně jsou popsány způsoby vyhodnocování mikročistoty těchto ocelí. Ve druhé části je uvedena technologie výroby a zpracování kordových ocelí. Poslední část je zaměřena na celosvětovou literární rešerši hodnotící požadavky zaměřené na zlepšení čistoty kordových ocelí, především úpravou rafinační strusky v průběhu zpracování na stanici LF a experimenty týkající se možností řízení vměstků v těchto ocelích.

Z analýzy literárních údajů vyplývají následující poznatky:

- Kordovými oceli nazýváme souhrnně oceli používané pro výrobu kordových výztuží pneumatik, které jsou tvořeny sítí z jednotlivých drátů spletených do pramenů. Průměr jemných drátů může být i 0,12 mm, jejich pevnost je nad 3600 MPa a může dosahovat až 5000 MPa.
- Kordové oceli se rozdělují na dvě základní skupiny, „bead wire“ pro výrobu patních lanek a „cord steel“ pro výrobu výztuží běhounu. Jejich rozdíl je pouze v průměru, do kterého se táhnou u bead wire do větších průměrů 1,6 mm a u cord steel až do 0,12 mm. Chemickým složením se neliší, ale musí splňovat velmi úzké tolerance dané požadavkem zákazníka. Dalším rozdílem je požadavek na mikročistotu, kde u cord steel je vyžadována velmi čistá ocel.
- Je limitován i maximální možný obsah plynů v kordových ocelích. Obsah vodíku by se měl pohybovat maximálně do 2 ppm, dusíku 40 ppm a kyslíku 15 ppm.
- Prvky jako Al nebo Ca, které slouží jako běžné dezoxidovadla v ocelích, jsou pro kordové oceli škodlivé, protože tvoří nežádoucí hlinitanové a vápenatohlinitanové vměstky, které působí velmi nepříznivě při tažení těchto ocelí a cyklickém namáhání kordové výztuže v pneumatice.
- Cílem je dosažení obsahu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve vměstcích kolem 20 %, kdy je dosaženo optimální plasticity nekovových vměstků, při vyšších hodnotách se zvýší procento nežádoucích nedeformovatelných vměstků.

- Z tohoto hlediska je nutno věnovat velkou pozornost i obsahu hliníku v přísazovaných feroslitinách (např. ve FeSi), který by měl být velmi nízký. Obsah rozpuštěného hliníku či vápníku by měl být nižší než 8 ppm.
- Vměstky v kordových ocelích, např.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , TiN, MnS, CaO a MgO, musí mít velikost maximálně do 10  $\mu\text{m}$ , nejprůzračnější pak do velikosti 5  $\mu\text{m}$ . Uvádí se, že pokud jsou vměstky větší než 2 % průměru vlákna, pak se vlákno může jednoduše porušit během tažení za studena a splétání do pramenů.
- K vyloučení přítomnosti nebezpečných komplexních vměstků CaO-MnO-SiO<sub>2</sub> někteří autoři doporučují použití speciální odlévací keramiky na bázi ZrO<sub>2</sub>.
- V dnešní době se pro vyhodnocení mikročistoty kordových ocelí využívá elektronových mikroskopů, pomocí kterých se hodnotí nejen počet, velikost a distribuce nekovových vměstků, ale i jejich chemické složení s následným grafickým výstupem ve formě ternárních diagramů, nejčastěji typu  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -CaO-SiO<sub>2</sub>.
- Pozornost u kvality kordových ocelí je nutno věnovat i středovým segregacím, které mohou vést k nesterodnosti vnitřního složení a mechanických vlastností. Dále mají negativní vliv na tažnost a únavové vlastnosti finálních výrobků.
- U kordových ocelí se proto metody výroby nebo zpracování liší od běžně vyráběných ocelí. Používá se specifických postupů při rafinaci, např. využití speciálních feroslitin, proplach licích pánví po výrobě oceli uklidněných Al a použití kyselých strusek např. na bázi wollastonitu.
- Hlavním cílem úpravy bazicity strusky je snaha o zamezení vzniku vměstků na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Na základě výsledků z experimentu se ukázalo, že při zvýšené bazicitě strusky (1,5-2) je celkový obsah kyslíku nejnižší (méně než 15 ppm), což je parametr charakterizující čistotu oceli. Termodynamický výpočet stanovil, že použitím strusek s nižší bazicitou (0,8-1,5) lze účinně snížit  $\text{Al}_2\text{O}_3$  obsažený ve vměstcích na méně než 5 %, což je prospěšné pro zlepšení plasticity vměstků.
- Pro zajištění vhodného složení strusky a její účinnosti při výrobě kordových ocelí se nejlépe uplatňuje syntetická struska s nízkou bazicitou s poměrem  $\text{CaO/SiO}_2 = 1$  a obsahem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  do 8 %, která může účinně ovlivnit možnost řízení škodlivých vměstků v kordových ocelích. Se zvýšením hmotnosti syntetické strusky přidané do tekuté oceli klesá rovnovážný obsah hliníku v tekuté oceli ze 2,3 ppm na 1,8 ppm.
- Prodloužení rekční doby mezi struskou a kovem z 15 minut na 30 minut vede ke snížení výskytu vměstků v kordových drátech. Dochází ke snížení rozpuštěného hliníku a vápníku

v lázni oceli. Tímto lze zabránit tvorbě nedeformovatelných vápenatohlinitanových vměstků a komplexních oxidů  $\text{Al}_2\text{O}_3$  během tuhnutí.

- TiN vměstky mají vysokou mikrotvrdost a při tváření se nedeformují. V důsledku ostrohranného tvaru jsou koncentrátory napětí v oceli a při tváření mohou způsobovat mikrotrhliny, které mohou vést až roztržení kordového drátu. Vměstky typu TiN vznikají během tuhnutí oceli. Experimentálně se zjistilo, že přidáváním rozdílně velikých TiN částic v průběhu přetavování vzorků do dvou ingotů, se výsledné množství TiN vměstků v obou ingotech nelišilo. Z toho vyplývá, že je klíčová precipitace TiN vměstků během tuhnutí. Proto je zřejmě důležité nastavit optimální parametry odlévání s ohledem na tvorbu precipitátu TiN.

## LITERATURA

- [1] MARCÍN, Jiří. *Pneumatiky – výroba, použití, údržba*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1976. Knižnice motoristy.
- [2] KORYNT, Jiří. *Konstrukce pneumatiky*. Pneu Poradna [online]. 2015 [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: <https://pneuporadna.cz/vse-o-pneu/konstrukce-pneumatiky>
- [3] GOLIS, Bogdan, Jan W. PILARCZYK, Henryk DYJA a Zbigniew BLAZEJOWSKI. *Steel tire cord technology*. The Wire Association International, 1999. ISBN 1-877836-21-4.
- [4] MICHALEK, K.: *Čistota a užité vlastnosti oceli*, katedra metalurgie a slévárenství, 2020.
- [5] JAREŠ, Vojtěch. *Metalografie ocele*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1960.
- [6] VELLING, Andreas. *Iron-Carbon Phase Diagram*. In: Fractory [online]. 10.03.2020 [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://fractory.com/iron-carbon-phase-diagram/>
- [7] *Válcovaný drát* [online]. 2010 [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: <https://www.trz.cz/vyrobky/17/valcovany-drat>
- [8] Yan, W.; Chen, W.; Li, J. *Quality Control of High Carbon Steel for Steel Wires*. Materials 2019, 12, 846. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma12060846>
- [9] MICHALEK, Karel, Ladislav SOCHA, Zdeněk ADOLF a kol. *RAFINACE A ODLÉVÁNÍ OCELI*. Ostrava, 2013. Studijní opory. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [10] WENG, Yuqing. *Ultra-Fine Grained Steels*. Ilustrované vydání, dotisk. Springer Science & Business Media, 2009, s. 458. ISBN 9783540772309.
- [11] MITURA, Karel a Svatava LANDOVÁ. *Vměstky v oceli a jejich vliv na užité vlastnosti oceli*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1986.
- [12] F. EGERTON, Ray. *Physical Principles of Electron Microscopy: An Introduction to TEM, SEM, and AEM*. 3rd printing. Springer, 2008. ISBN 978-0-387-25800-3
- [13] *Observation of the micro world using electrons*. In: Joel [online]. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: <https://www.jeol.co.jp/en/science/sem.html>
- [14] TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. *Interní sdělení*, dokumentace, 2021.
- [15] PARUSOV, V. V., R. V. STAROV, I. V. DEREVYANCHENKO a A. B. SYCHKOV. *A decade of quality steel production: Developing a production technology for steel used in metal-cord manufacture*. Steel in Translation [online]. January 2010, no. 1, vol. 40, pp. 82–87 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: doi: [10.3103/S0967091210010195](https://doi.org/10.3103/S0967091210010195)
- [16] N. WRIGHT, Rogen. *Wire Technology: Process Engineering and Metallurgy*. Elsevier, 2011. ISBN 978-0-12-382092-1.

- 
- [17] GHOSH, Ahindra a Amit CHATTERJEE. *Ironmaking and steelmaking: theory and practice*. New Delhi: PHI Learning, 2011. ISBN 978-81-203-3289-8.
  - [18] BÖHM, Zdeněk, Jaroslav CAGAŠ, Jaroslav KUČERA a kol. *Plynulé odlévání oceli*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1992. ISBN 80-03-00661-9.
  - [19] *Manufacturing Process*. In: Kobelco [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.kobelco.co.jp/english/products/wirerod/process/index.html>
  - [20] ŽÍDEK, Milan, Vladimír DĚDEK a Boris SOMMER. *Tváření oceli*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1988.
  - [21] VERLINDEN, Bert, CAHN, Robert W., ed. *Thermo-mechanical processing of metallic materials*. London: Pergamon/Elsevier, 2007. Pergamon materials series, v. 11. ISBN 978-0-08-044497-0.
  - [22] KIRIHARA, Kazuhiko. *Production Technology of Wire Rod for High Tensile Strength Steel Cord* [online]. 30 DEC. 2011 [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: [https://www.kobelco.co.jp/english/ktr/pdf/ktr\\_30/062-065.pdf](https://www.kobelco.co.jp/english/ktr/pdf/ktr_30/062-065.pdf)
  - [23] *Creel Systems*. In: RJS Corporation [online]. [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://www.rjscorp.com/products>
  - [24] *Clean Steel*. Total Materia [online]. Mar 2007 [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=KTS&NM=196>
  - [25] GUO, Changbo, Haitao LING, Lifeng ZHANG, Wen YANG, Ying REN a Hao ZHOU. *Effect of slag basicity adjusting on inclusions in tire cord steels during ladle furnace refining process*. Metall. Res. Technol. [online]. September 2017, 7 [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1051/metal/2017065>
  - [26] LIU, Zonghui, Guodong SONG, Zhiyin DENG a Miaoyong ZHU. *Evolution of Inclusions in Si-Mn-Killed Steel During Ladle Furnace (LF) Refining Process*. Metallurgical and Materials Transactions B [online]. March 2021 [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1007/s11663-021-02074-0>
  - [27] LIU LEI, Jia, Dong NAN ZHAO a Hang YU ZHU. *Genesis Analysis of Large TiN Inclusion for High Strength Tire Cord Steel*. Solid State Phenomena [online]. October 2019 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.298.24>
  - [28] YANG, Wen, Kaiyu PENG, Lifeng ZHANG a Qiang REN. *Deformation and fracture of non-metallic inclusions in steel at different temperatures*. Journal of Materials Research and Technology [online]. 28 October 2020 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.10.066>
  - [29] KUROSAKI, Y., M. SHIOZAKI, K. HIGASHINE a M. SUMIMOTO. *Effect of Oxide Shape on Magnetic Properties of Semiprocessed Nonoriented Electrical Steel Sheets*. ISIJ International [online]. 1999, 39 (6), 607-613 [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.39.607>



- [30] MANDAL, G. K., Ashok KAMARAJ, M. M. HUMANE, R. K. MINJ, S. K. DAS, R. B. V. RAMANA a T. VENUGOPALAN. *Development of Speciality Grade Wire by Controlling the Inclusions in High-Carbon Steel Using Synthetic Slag Treatment*. Transactions of the Indian Institute of Metals [online]. 6 December 2018 [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1007/s12666-018-1488-4>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obr. 1</b> Konstrukce pneumatiky .....	6
<b>Obr. 2</b> Uložení vložek a nárazníku v diagonálním a radiálním plášti pneumatiky .....	7
<b>Obr. 3</b> Konstrukce diagonálního pláště pneumatiky .....	8
<b>Obr. 4</b> Konstrukce radiálního pláště pneumatiky .....	9
<b>Obr. 5</b> Složky ocelového kordu .....	9
<b>Obr. 6</b> Rovnovážný diagram železo-uhlík .....	10
<b>Obr. 7</b> Středová segregace plynule litého sochoru .....	12
<b>Obr. 8</b> Vměstky v jamce houževnatého lomu .....	15
<b>Obr. 9</b> Světelný (optický) mikroskop .....	16
<b>Obr. 10</b> Tranzitní a skenovací elektronový mikroskop .....	17
<b>Obr. 11</b> Skenovací elektronový mikroskop .....	18
<b>Obr. 12</b> Skenovací tranzitní elektronový mikroskop .....	19
<b>Obr. 13</b> Ternární diagram pro hodnocení mikročistoty pomocí ternárních diagramů .....	20
<b>Obr. 14</b> Technologický postup výroby ocelových sochorů .....	22
<b>Obr. 15</b> Technologický postup zpracování válcovaného drátu .....	23
<b>Obr. 16</b> Technologický postup zpracování ocelového kordu .....	24
<b>Obr. 17</b> Cívečnice ocelového kordu .....	25
<b>Obr. 18</b> Změny zásaditosti strusky a $\text{Al}_2\text{O}_3$ ve strusce během rafinace na stanici LF .....	27
<b>Obr. 19:</b> Změna celkového kyslíku a rozpuštěného hliníku v oceli .....	27
<b>Obr. 20</b> Vliv složení strusky na $\text{Al}_2\text{O}_3$ a $\text{MgO}$ ve vměstcích .....	28
<b>Obr. 21</b> Složení vměstků v průmyslové oceli .....	30
<b>Obr. 22</b> Elementární zobrazení vměstků na bázi $\text{MnO-SiO}_2$ .....	31
<b>Obr. 23</b> Distribuce složení vměstků po experimentu se žáruvzdorným materiálem .....	31
<b>Obr. 24</b> Morfologie TiN částic různých velikostí .....	32
<b>Obr. 25</b> Distribuce velikostí TiN vměstků ve vzorcích .....	33
<b>Obr. 26</b> Morfologie TiN vměstků pomocí SEM .....	34
<b>Obr. 27</b> Rozpouštěcí model TiN částic .....	34
<b>Obr. 28</b> Morfologie vměstků ve vzorcích oceli po válcování za studena .....	36
<b>Obr. 29</b> Distribuce velikosti vměstku v tavných rafinovaných HBS a LBS .....	36
<b>Obr. 30</b> Průměrná velikost vměstků před a po válcování za studena .....	37
<b>Obr. 31</b> Vztah mezi poměrem stran a Youngovým modulem po válcování za tepla .....	37
<b>Obr. 32</b> Vztah mezi poměrem stran a viskozitou vměstků po válcování za studena .....	38
<b>Obr. 33</b> Vztah mezi poměrem stran a Youngovým modulem po válcování za studena .....	38
<b>Obr. 34</b> BDT a deformace vměstku při různých teplotách .....	39
<b>Obr. 35</b> Vliv množství strusky na obsah $[\text{Al}]$ v tekuté oceli a konečnou zásaditost strusky ..	40
<b>Obr. 36</b> Vliv poměru $\text{CaO/SiO}_2$ a aktivity $\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	40
<b>Obr. 37</b> Optické mikrofotografie vměstků ve válcovaném drátu o průměru 5,5 mm .....	42
<b>Obr. 38</b> Optické mikrofotografie vzorků získaných z první tavby .....	42
<b>Obr. 39</b> Optické mikrofotografie vzorků získaných z druhé tavby .....	43

## SEZNAM TABULEK

<b>Tab. 1</b>	Nenormalizované značky pro výrobu kordů a patních lanek do pneumatiky .....	11
<b>Tab. 2</b>	Tresné body pro povrchové trhliny .....	17
<b>Tab. 3</b>	Složení kordových ocelí (hm. %) .....	26
<b>Tab. 4</b>	Složení počáteční strusky .....	28
<b>Tab. 5</b>	Složení konečné strusky (hm. %) .....	29
<b>Tab. 6</b>	Složení slitin použitých v experimentech (hm. %) .....	29
<b>Tab. 7</b>	Chemické složení vzorků ocelí (hm. %) .....	30
<b>Tab. 8</b>	Podmínky přetavování vzorků ocelí .....	32
<b>Tab. 9</b>	Chemické složení vzorku oceli a ingotů po přetavení (hm. %) .....	33
<b>Tab. 10</b>	Chemické složení zkoumané oceli (hm. %) .....	35
<b>Tab. 11</b>	Chemické složení válcovaného drátu (hm. %) .....	41
<b>Tab. 12</b>	Složení syntetické strusky (hm. %) .....	41